ACCADEMIA REALE DELLE SCIENZE DI TORINO
(Anno 1902-1903)

I MOVIMENTI RESPIRATORI

DEL TORACE E DEL DIAFRAMMA

RICERCHE

DEL SOCIO
ANGELO MOSSO

TORINO
CARLO CLAUSEN
Libraio della R. Accademia delle Scienze
1903

ACCADEMIA REALE DELLE SCIENZE DI TORINO
(Anno 1902-1903)

I MOVIMENTI RESPIRATORI

DEL TORACE E DEL DIAFRAMMA

RICERCHE

DEL SOCIO
ANGELO MOSSO

TORINO
CARLO CLAUSEN
Libraio della R. Accademia delle Scienze
1903

I.

L'azione dei centri nervosi sui movimenti del respiro.

I problemi fondamentali della respirazione intorno ai quali da lungo tempo discutono i fisiologi sono essenzialmente due: si tratta di sapere se i movimenti del respiro siano riflessi od autoctoni; se vi sia solo un centro respiratorio nel midollo allungato, o se pure esistano altri centri nel midollo spinale e nel cervello.

Mi sono già occupato due volte di questo argomento: nel 1878 (1) e nel 1885 (2). Ora comunico altre esperienze le quali dimostreranno meglio che i movimenti del respiro sono autoctoni, e che i movimenti del torace, del diaframma, della faccia e dell'addome funzionano in modo indipendente per mezzo di centri nervosi speciali fra loro associati.

Comincierò con una esperienza fatta sopra un animale coi vaghi tagliati, per vedere subito cosa succede facendo la respirazione artificiale in un cane dove sia eliminata la variazione ritmica dei gas del sangue che si produce nella respirazione normale, e dove sia esclusa la sensibilità dei polmoni.

Si tratta di un cane del peso di 8500 grammi, il quale in ripetute iniezioni aveva ricevuto 9 grammi di cloralio nella vena giugulare, ed al quale si erano dopo tagliati i due nervi vaghi. Quando incomincia il tracciato (fig. 1) è più di un minuto che fac-

---

(1) A. Mosso, *Sui rapporti della respirazione addominale e toracica nell'uomo*, " Archivio per le scienze mediche ", 1878.

(2) Id., *La respirazione periodica*, " Memorie della R. Acc. dei Lincei ", 1885.

ciamo la respirazione artificiale per mezzo di un soffietto messo in comunicazione colla trachea, senza che ci riesca di modificare i movimenti del respiro. In alto è scritta la respirazione toracica ed in basso l'addominale. Adoperai a tale scopo due timpani messi intorno al torace come quelli del pneumografo di Marey, i quali per mezzo di un tubo a forchetta comunicavano con un timpano a leva, il quale scriveva sul cilindro di un motore Baltzar. Un altro timpano che portava sulla membrana elastica un bottone sporgente di sughero, poggiava sull'addome in corrispondenza della regione epigastrica, ed era tenuto in posto da un tubo di piombo pieghevole per adattarlo meglio per mezzo di un sostegno nella posizione voluta. In questo come in tutti i tracciati seguenti le linee si alzano nella inspirazione e scendono nella espirazione: il tempo è scritto in modo che ogni dente corrisponde a un intervallo di due secondi. Per brevità, non dirò più nulla riguardo al tempo, bastando questo avvertimento anche pei tracciati successivi.

Tor

Ad
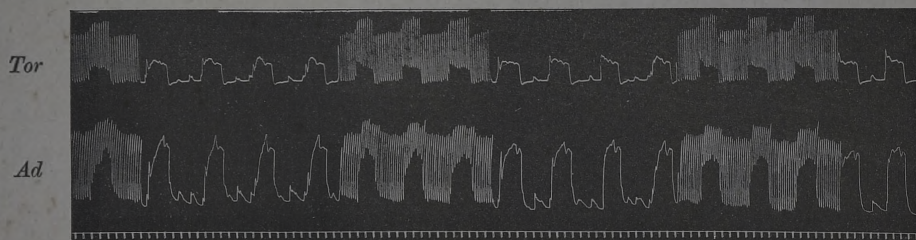
Fig. 1.

Quando si sospende la respirazione artificiale vediamo che il ritmo del respiro spontaneo procede inalterato, che i movimenti del torace e del diaframma non cambiano menomamente. Una respirazione artificiale intensa che aveva durato più di un minuto non era dunque bastata a produrre l'apnea, e dobbiamo conchiudere che questo animale sia insensibile ai mutamenti dei gas del sangue che si producono per mezzo della respirazione. Nel tracciato 1 ricominciamo due volte a far la respirazione artificiale per circa 40 secondi e tutte due le volte vediamo che il respiro non subisce alcun mutamento.

Da questa esperienza appare che anche dopo il taglio dei vaghi esiste un governo della respirazione, e che i mutamenti del sangue quali si producono anche nella respirazione più intensa, non bastano a modificare il ritmo e la forza dei movimenti respiratorî e che per ciò dobbiamo considerarli come automatici, od *autoctoni,* come il Gad propose di chiamarli.

Tutte le modificazioni del respiro che succedono negli animali coi vaghi intatti si possono riprodurre dopo recisi questi nervi, solo che bisogna adoperare degli stimoli più forti. Questo lo vediamo nel tracciato 2.

È un coniglio del peso di 1600 gr. al quale si amministrò un grammo di cloralio nell'addome. Fatta la tracheotomia, quando fu bene addormentato gli si tagliarono i vaghi, e legammo un tubo a T nella trachea: un ramo fu messo in comunicazione con un timpano di Marey; l'altro libero serviva alla respirazione. La curva scritta in

questo tracciato rappresenta la velocità della corrente dell'aria inspirata ed espirata, e siccome il coniglio impiegava un tempo più lungo ad inspirare che non ad espirare, così nel tracciato normale quasi non si vede l'inspirazione e solo appare l'espirazione colla linea ascendente.

Nel punto α segnato da una freccia ↓ avviciniamo un debole getto di anidride carbonica al tubo della trachea donde penetra l'aria nei polmoni. La inspirazione si rinforza, ma la espirazione diviene più energica che non sia l'aumento della inspirazione. In ω cessa l'amministrazione di anidride carbonica che penetrava nei polmoni mescolata con molta aria.

Sebbene fossero inattivi i vaghi, vediamo che si è prodotta una modificazione profonda del respiro. Le due curve, quella che unirebbe il vertice di tutte le espirazioni da α in ω; e quella sottostante che unirebbe il principio di tutte le espirazioni, non si rassomigliano. Questo dipende da ciò che per effetto dell'anidride car-
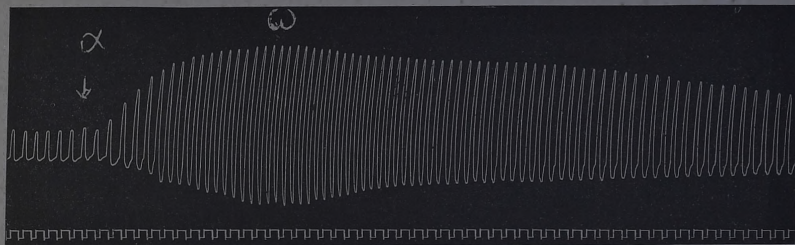
Fig. 2.

bonica reagirono in modo diverso il centro inspiratorio e quello dei muscoli espiratorî. L'effetto sulla espirazione, come vedesi nella curva guardando il vertice delle espirazioni nella linea superiore, si mantiene più lungamente elevata che non la linea che passerebbe per la base di tutte le inspirazioni verso il basso.

Questa esperienza è istruttiva per coloro che ancor oggi non ammettono che la espirazione sia attiva. Qui appare evidente che l'anidride carbonica agisce per un tempo più lungo e più intensamente sul centro espiratorio che non su quello inspiratorio. L'anidride carbonica esagera i fenomeni respiratori nell'animale coi vaghi tagliati dove vediamo entrare in azione i muscoli espiratorî dell'addome e spesso anche quelli della faccia in modo più forte che non succeda nel respiro normale.

Ritornerò su questo argomento con altre esperienze più evidenti dove scriveremo le contrazioni dei muscoli retti dell'addome.

L'animale è così profondamente addormentato per mezzo del cloralio che non reagiva più al dolore. Per tale ragione dobbiamo ammettere che l'anidride abbia agito direttamente sui centri della respirazione. Non può essere un riflesso dovuto ai nervi della pelle, o ad altri nervi sensibili, perchè comprimendo forte le zampe con una tanaglia non erasi ottenuto prima alcun effetto.

Non mi fermo a discutere se la respirazione dipenda da riflessi che si producono per influenza della sensibilità generale; dirò solo che ad un cane avvelenato profondamente col curare e nel quale solo il diaframma si muove, si possono stritolare le

ossa delle dita, senza che succeda la più piccola modificazione nel ritmo e nella forza delle contrazioni diaframmatiche.

Ho già pubblicato i tracciati di cani resi insensibili col cloralio (1), nei quali aprii largamente l'addome e il diaframma, e i muscoli del torace continuavano a funzionare, mentre i polmoni erano in collasso, cosicchè i movimenti respiratorî erano inutili.

La stessa anidride carbonica, che forse è lo stimolo più potente del centro respiratorio, può diventare anch'essa inattiva. Amministrando ripetutamente del cloralio ad un coniglio si ottiene un sopore così profondo, che la temperatura rettale può scendere a 24°. I movimenti del respiro diventano estremamente deboli. Se in tali condizioni si chiude la trachea, spesso gli animali muoiono di asfissia senza reagire. I movimenti del respiro si rallentano e crescono pochissimo di profondità, fino a che cessano completamente.

Centri respiratori cerebrali.

Ho già dimostrato in un altro lavoro le relazioni dei centri respiratori cerebrali coi muscoli della faccia; ora vedremo meglio come agiscano sul respiro i centri respiratori cerebrali e le funzioni psichiche. Quando scrissi il tracciato 3 io ero coricato
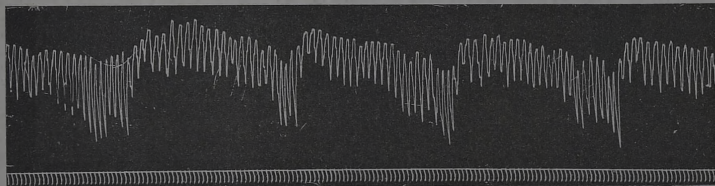
Fig. 3.

sopra un sofà ed avevo intorno al torace un pneumografo doppio (2); ero solo nella stanza e sul tavolo dinanzi a me stava il motore Baltzar, sul quale scrivevasi il tracciato del respiro. Stando profondamente tranquillo compaiono delle ondulazioni nel tracciato, e mi accorgo che esse corrispondono ai fenomeni psichici. Quando sto attento, il tracciato forma una linea orizzontale: ma tutte le volte che mi distraggo, la serie delle respirazioni si abbassa. Quando mi accorgo che nella mia coscienza appaiono delle imagini e delle cose alle quali prima io non pensavo, e si stabiliscono dei fatti psichici che non hanno più una concatenazione collo stato precedente delle idee, guardando il cilindro vedo che la penna si è alzata e il torace

(1) *La respirazione periodica e di lusso.* Tav. VII, pag. 43.

(2) In tutte le esperienze fatte sull'uomo in questa memoria, adoperai il pneumografo doppio di Ch. Verdin che non descrivo perchè la figura trovasi a pag. 102 del suo catalogo. Dirò solo che feci sempre attenzione perchè la membrana elastica dei due timpani fosse egualmente tesa. Una cinghia di cotone inestensibile serviva a fissare il pneumografo per mezzo di una fibbia intorno al torace o all'addome. La tensione giusta della membrana elastica si ottiene facendo scorrere lateralmente l'uno o l'altro timpano che sono mobili e si fissano per mezzo di una vite a pressione. Nella inspirazione la penna si alza.

è passato in posizione inspiratoria più forte. Le inspirazioni diventano più piccole e la tonicità dei muscoli toracici aumenta.

La differenza nei mutamenti del torace e dell'addome durante l'attenzione, la distrazione ed il sonno l'ho già descritta in due lavori precedenti, ma non avevo tenuto calcolo della rapidità colla quale si compiono queste modificazioni. Nel sonno è facile dimostrare che la coscienza ed il pensiero si destano e funzionano prima che abbia potuto modificarsi la circolazione. In un mio prossimo libro sul sonno pubblicherò le osservazioni che feci in tale riguardo studiando la circolazione sanguigna nel cervello dell'uomo. I riflessi si compiono nell'uomo con ritardi abbastanza lunghi, ed è lunghissimo fra tutti quello della deglutizione.

Fra l'eccitazione dei nervi sensibili e la contrazione successiva dei muscoli intercede un tempo percettibile; ma per i mutamenti del respiro, non ho potuto accorgermi di questo ritardo; quando succede il mutamento psichico succede contemporaneamente il mutamento nel respiro. Guardando il tracciato appena cessa la distrazione e si ristabilisce il fenomeno dell'attenzione, vedo che si è arrestata nella discesa la penna e che è già cominciata una inspirazione più alta. Sono dunque fenomeni sincroni e diversi dai riflessi comuni, onde si deve ammettere l'esistenza di centri respiratorî cerebrali.

Pur riconoscendo che vi sia nel midollo allungato un centro che manda impulsi ritmici ai centri spinali del respiro, dobbiamo ritenere che fra la corteccia cerebrale ed il centro del midollo allungato devono esistere delle relazioni più intime e più dirette che non siano quelle che producono i riflessi ordinarî, i quali si compiono con lentezza molto maggiore.

Differenze individuali, e mutamenti nella eccitabilità del centro respiratorio.

Il concetto che noi dobbiamo farci di un eccitamento è quello di una causa che produce un mutamento nella condizione della vita delle cellule; di una causa cioè che è capace di alterare la costituzione chimica delle cellule. Quanto maggiore è la vitalità delle cellule, tanto più sarà grande la resistenza che esse oppongono agli agenti perturbatori. È questa una affermazione che a primo aspetto lascia dubbiosi; ma per comprendere come dobbiamo tenere distinto il concetto della vitalità da quello della eccitabilità, basta pensare a cosa succede negli animali neonati, che sono i più refrattarî all'asfissia. Invecchiando gli animali e l'uomo diventano sempre meno resistenti alle cause perturbatrici del respiro.

È questo un fatto importante per la fisiologia generale della respirazione che ho già accennato in una precedente memoria sull'apnea, e che torna utile di esaminare meglio. Lœwy in un lavoro che fece sulla eccitabilità del centro respiratorio giunse alla conclusione che " la eccitabilità del centro respiratorio presenta una grande *(auffallend)* costanza „ (1). Le esperienze che ho fatto sull'uomo mi diedero dei risultati che contraddicono tale affermazione.

---

(1) A. Lœwy, *Zur Kenntniss der Erregbarkeit des Athemcentrums*, " Arch. f. d. g. Physiologie „, vol. 47, pag. 620.

Non mi fermerò qui a fare la critica del metodo di Lœwy, nè a cercare la ragione di questa differenza. Credo che ad impugnare tale affermazione del Lœwy siano sufficienti le esperienze che ho già pubblicate intorno all'apnea e quelle che esporrò adesso.

Il metodo che adoperai in queste ricerche consiste nel chiudere il naso e sospendere la respirazione per un tempo eguale p. e. 10″ e vedere quali sono le modificazioni che succedono nel respiro. Mettendo un pneumografo intorno al torace e scrivendo i movimenti respiratori si osserva una grande costanza nei tracciati quando le persone stanno tranquille. Per maggiore regolarità dei tracciati è meglio chiudere le narici sempre alla fine di una espirazione.
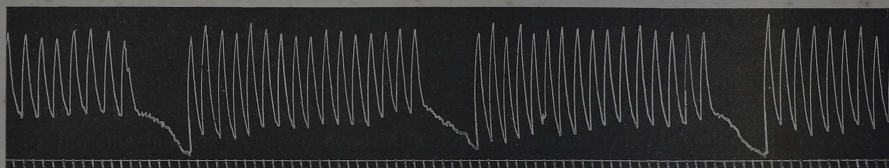
Fig. 4.

Il primo fatto che risulta da queste esperienze è che le persone giovani sono generalmente più refrattarie all'asfissia che non gli adulti od i vecchi, cioè un arresto del respiro produce nei giovani una reazione meno intensa che negli adulti e nei vecchi.
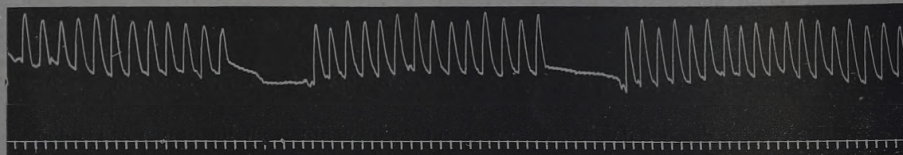
Fig. 5.

Questo lo vediamo nei seguenti tracciati: Al ragazzo del laboratorio Gay Giuseppe, che ha l'età di 15 anni, applico un pneumografo doppio di Marey intorno all'addome. Come nelle precedenti ricerche sull'apnea, per evitare la fatica di stare in piedi, le persone da me studiate si appoggiavano contro una tavola imbottita che stava inclinata a 45°.

Nel tracciato 4 chiudo per 3 volte successive il naso, comprimendogli colle dita le narici. L'addome si rilascia e passa in una posizione espiratoria maggiore durante la pausa del respiro; l'altezza delle inspirazioni rimane quasi costante, solo la tonicità e la posizione espiratoria del diaframma si è modificata e dopo si ristabilisce.

Il tracciato 5 rappresenta pure il respiro del diaframma e fu preso sopra di una donna coricata in posizione orizzontale. Il tempo nel quale le tenevo chiuse le narici è più lungo e varia da 16″ a 20″.

Anche qui vediamo che la pausa del respiro non produce alcun effetto e le inspirazioni che succedono dopo tale arresto non sono cambiate, nè per il ritmo, nè per la forza.

Il tracciato 6 lo prendemmo sopra un garzone del laboratorio meccanico, certo Ghiffa, di anni 15: esso rappresenta la respirazione del torace scritta mentre stava coricato orizzontalmente. Gli chiudo le narici e dopo 24″ le apro: succede una inspirazione più forte, ma questo non è un fatto costante, perchè era mancata nell'esperienza
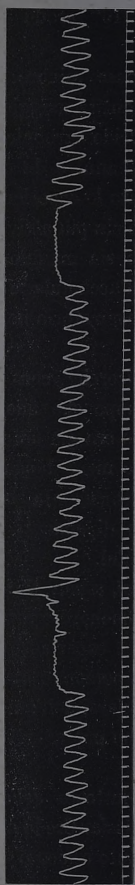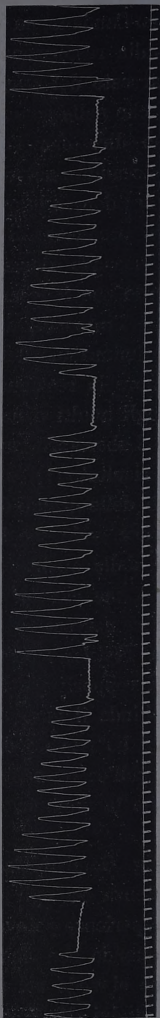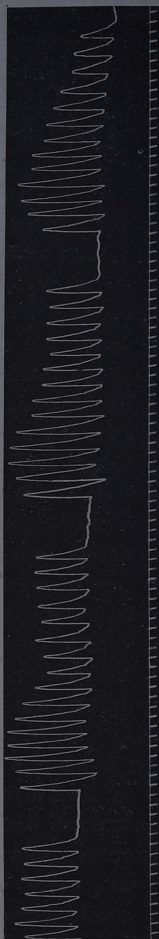
Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8.

precedente e manca pure nella successiva. L'importante è di vedere che un arresto così lungo produce un effetto minimo sulle respirazioni successive.

Nelle persone adulte non vi è più questa impassibilità del respiro per una pausa. Dei molti esempi che potrei riferire, ne prendo due a caso nella serie delle esperienze fatte e li riproduco colle figure 7 ed 8. Un vecchio di 76 anni, certo Manini Carlo,

ha il pneumografo doppio intorno al torace (fig. 7). Per quattro volte gli chiudo le narici comprimendole colle dita durante 10″. In tutte queste esperienze, come nelle precedenti, e nelle successive fatte in altri giorni per raffronto, ottenni sempre una reazione più forte del respiro che non succeda nei giovani per una pausa eguale del respiro, o per una molto più lunga.

Il tracciato 8 fu preso sopra Agostino Caudana, un uomo robusto dell'età di 51 anno, sul quale feci le mie prime ricerche sulla respirazione ora sono già più di 25 anni. Anche in lui, come succede in me, l'arresto del respiro fatto per 10″ produce una reazione costante e molto più grande che nelle persone più giovani.

In queste esperienze non possiamo dire che l'eccitamento fosse minore: anzi siamo certi che nello stesso tempo si accumula nei giovani una quantità maggiore di anidride carbonica nel sangue. Forse era doppia la quantità di anidride carbonica che per il medesimo peso in chilogrammi produceva il ragazzo di 18 anni e la donna di 22, in confronto del vecchio di 76, secondo avevano già mostrato le esperienze di Scharling. In questo sono tutti d'accordo che il ricambio materiale sia più attivo nei giovani che nei vecchi, e malgrado che l'intensità dell'eccitamento sia maggiore (se vogliamo chiamare con tale nome la diminuzione dell'ossigeno e l'accumularsi dell'anidride carbonica nel sangue) è minore la reazione del centro respiratorio nei giovani, mentre è più intenso l'effetto negli adulti e nei vecchi.

Il prof. Benedicenti fece nel mio Laboratorio una serie di ricerche con altro metodo, le quali diedero il medesimo risultato (1): studiando il tempo che uno può resistere tenendo il naso chiuso, trovò delle grandi differenze, come era già noto; ma analizzando l'aria espirata dopo la pausa, vide che la durata più o meno lunga non dipende dalla capacità polmonare, nè dalla quantità di ossigeno consumata, nè da quella dell'anidride carbonica eliminata, ma che le differenze sono dipendenti dalla maggiore, o minore resistenza dei centri nervosi nei diversi individui.

Ho pubblicato nel mio libro sulla *Fisiologia dell'uomo sulle Alpi*, a pag. 274, una tabella grafica nella quale si vedono i rapporti fra la capacità polmonare e il tempo che uno può resistere quando gli si chiude il naso. Facendo queste esperienze sugli studenti che frequentano le mie lezioni ho trovato delle differenze personali inaspettate, che certo non possono spiegarsi coll'eccitamento per l'accumularsi dell'anidride carbonica nei polmoni, o coll'azione che la diminuzione dell'ossigeno può avere come eccitamento sul centro respiratorio.

Uno studente di Veterinaria, il sig. Gambarotta, di aspetto piuttosto debole e pallido, ci sorprese colla grande resistenza che egli presentò all'asfissia. Credo sia un caso eccezionale, perchè in parecchie esperienze poteva stare un minuto e mezzo senza respirare; e questo succedeva anche quando non faceva una inspirazione profonda prima che gli chiudessi le narici, come si vede nel tracciato 9. In questo foglio vi erano due tracciati eguali fatti sopra di lui. Ho dovuto tagliarne uno in due per non riprodurre una figura troppo lunga. Il respiro fu scritto nel solito modo con un pneumografo messo intorno al torace. La penna scende nella inspirazione e si alza nella espirazione. Non ho scritto il tempo, perchè lo contavo coll'orologio a secondi. In

(1) A. Benedicenti, *Sull'arresto del respiro nell'uomo e cause che ne modificano la durata*, R. Accademia di medicina, aprile 1897.

questo tracciato da α in ω sono passati 91 secondi prima che aprisse la bocca. Per quasi un minuto il tracciato del torace è perfettamente immobile e si vedono i battiti del cuore. In principio della seconda linea il torace non sta più fermo ed immobile come prima, ma vedesi un leggero tremito coll'accenno a dei moti inspiratorî.

Questo tracciato fa uno strano contrasto con altri che pubblicherà fra poco il prof. Galeotti, che pure essendo giovane e robusto resiste normalmente solo 8 secondi alla chiusura delle narici, e deve qualche volta aprire anche prima la bocca per respirare.

Degna di meraviglia in questo tracciato è la durata minima della reazione che manifestasi quando il signor Gambarotta apre la bocca e respira spontaneamente. Dopo due inspirazioni profonde il respiro era normale. Lo stesso è succeduto anche
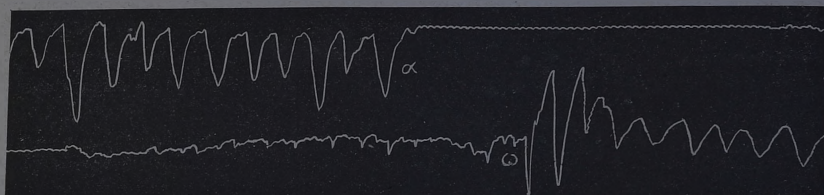
Fig. 9.

in un tracciato dove stette 98 secondi senza respirare. Non ho riprodotto questo tracciato perchè nell'ultima parte il torace era meno immobile che in questo della figura 9.

Nei suoi compagni della medesima età e dello stesso corso il respiro si potè trattenere in media solo circa 30″, alcuni anche solo 17″, senza che vi fosse alcun rapporto colla capacità polmonare, il peso, o la statura, come appare dai dati miei e da quelli che pubblicò il prof. Benedicenti.

Questi fatti mostrano quanto sia diverso lo stato di eccitabilità del centro respiratorio e come non siano attendibili le conclusioni alle quali è giunto Lœwy, che ammette essere costante in tutte le persone e in tutte le circostanze e le ore della giornata la eccitabilità del centro respiratorio, facendo dipendere tutto dagli eccitamenti che agiscono irritando il centro respiratorio.

Critica delle dottrine fisiologiche per mezzo delle esperienze fatte sull'uomo.

Gli studî grafici che ho pubblicato e che pubblicherò in seguito sulla respirazione spero avranno per risultato di convincere i colleghi che gli esperimenti sull'uomo siano per molti problemi preferibili alle ricerche che si fanno sugli animali. Fu un errore di non aver cercato sempre prima di enunciare una dottrina, se non era possibile di rettificarla sull'uomo. I conigli, sui quali vennero fatte fino ad ora la maggior parte delle esperienze per fondare la dottrina generale della respirazione, hanno l'inconveniente di respirare con un tipo diverso dal nostro. La vivisezione, l'uso dei frenografi e degli strumenti che si applicano direttamente al diaframma aprendo la

cavità dell'addome sono metodi violenti che servono meno bene dello studio grafico fatto sull'uomo.

Dopo le ricerche di Hering e Breuer (1) tutti i fisiologi dànno una grande importanza alle eccitazioni dei rami nervosi terminali, colle quali i nervi vaghi si distribuiscono al polmone.

È noto come Breuer ed Hering abbiano affermato in seguito alle loro esperienze che i mutamenti di volume dei polmoni, cioè la loro estensione e il loro restringimento, influiscono per mezzo del nervo vago sui moti della respirazione; così che la distensione dei polmoni agisce in via riflessa paralizzando l'inspirazione e producendo l'espirazione, e viceversa che per mezzo della diminuzione del volume polmonare si ferma la espirazione, e si eccita una inspirazione.

Questi risultati non si ottengono nell'uomo. Esaminando molte persone in varie ore della giornata, alle quali chiudevo le narici per un tempo più o meno lungo
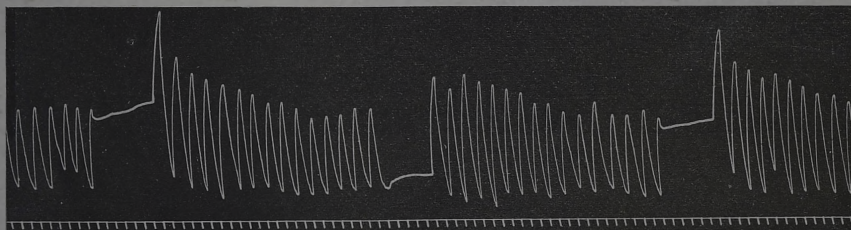
Fig. 10.

e ripetutamente con metodo nelle varie fasi della rivoluzione respiratoria, mi accorsi che non si verifica nell'uomo la legge dei riflessi enunciata da Breuer ed Hering. Questo disaccordo si vede nel tracciato 10 preso sopra Agostino Caudana, dove essendosi chiuse le narici alla fine di una inspirazione, non incomincia dopo una espirazione, ma succede invece un' altra inspirazione. Nella seconda esperienza avendo chiuso le narici alla fine di una espirazione si produsse una inspirazione dopo l'arresto. Nella terza ripetendo la chiusura alla fine di una inspirazione si ottiene non già una espirazione, ma un'altra inspirazione, e così successe parecchie volte di seguito.

Per eliminare il contatto colla pelle ho ripetuto queste esperienze servendomi di una maschera di guttaperca modellata sulla faccia delle persone che servivano alle mie esperienze. Il tubo di vetro messo in corrispondenza del naso poteva chiudersi facilmente per mezzo di un tappo conico di sughero, o di gomma, che chiudeva ermeticamente l'apertura. La maschera era a tenuta d'aria per mezzo di mastice da vetrai messo intorno sul bordo. La persona dopo essersi riposata respirando spontaneamente, sapeva che bisognava lasciar funzionare liberamente il respiro senza intervenire in nessun modo colla volontà. Durante la chiusura la linea decorre orizzontale.

---

(1) Breuer, *Die Selbststeuerung der Athmung durch den Nervus Vagus*, " Sitzungsberichte k. Ak. der Wiss. Wien ", 1868, pag. 909.

Il tracciato 11 fu preso sopra Giorgio Mondo; esso ha un timpano doppio intorno al torace e sta coricato nella posizione di 45°.

Nella prima esperienza, chiudendo l'accesso dell'aria alla fine di una inspirazione, non vi è alcun cenno di una espirazione e siamo incerti se si verifichi la legge di Breuer ed Hering, ma nelle due esperienze successive non si verifica più. Quindi non
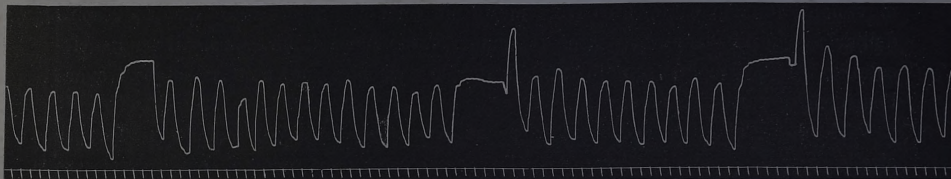
Fig. 11.

possiamo ammettere che nella respirazione normale l'azione del centro nervoso sia influenzata dagli stimoli meccanici che vengono dalla periferia per mezzo del nervo vago. Qui vediamo che la distensione polmonare dovuta all'inspirazione non produsse l'inibizione del movimento inspiratorio: la prima volta si ebbe un prolungamento della inspirazione, e nelle due ultime esperienze il respiro cominciò con una inspirazione.

Bastano, credo, questi esempi per mostrare che la dottrina di Breuer ed Hering non può applicarsi all'uomo e ritornerò in seguito su questo argomento.

Respirazione coll'idrogeno.

Dopo essermi convinto con queste esperienze che manca la sensibilità tattile e per così dire meccanica per i movimenti del polmone, uno può facilmente convincersi che manca pure la sensibilità chimica nelle terminazioni periferiche del vago. Respi-
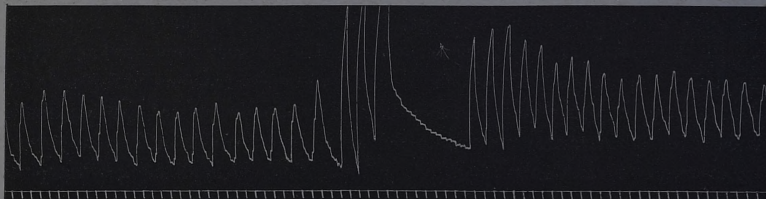
Fig. 12.

rando l'idrogeno, l'azoto, e l'acido carbonico mi assicurai che questi gas non eccitano il polmone, e che per essi il polmone è insensibile.

L'idea di servirsi dell'idrogeno per eliminare l'azione dell'ossigeno nella respirazione, fu una delle prime che venne ai fisiologi: ma non si trasse da queste esperienze molto profitto, perchè si faceva respirare troppo lungamente questo gas in modo da produrre l'asfissia. Bisogna fare solo due o tre inspirazioni.

Riproduco una esperienza fatta coll'idrogeno sopra me stesso (Fig. 12). Mentre sono coricato in posizione orizzontale col pneumografo doppio sul torace e si scrive il

respiro, mi viene messa sopra la faccia una maschera di metallo dalla quale esce una forte corrente di idrogeno puro che trovasi compresso a 5 atmosfere in un cilindro. La corrente è così forte che sono quasi certo di respirare tutto idrogeno. Faccio tre inspirazioni profonde e non ho alcuna sensazione, i movimenti profondi del respiro si compiono liberamente come se respirassi dell'aria, manca ogni riflesso che accenni menomamente a modificare il respiro, anche l'apnea che succede è normale: ma i movimenti quando cominciano sono molto più forti che non fossero quando respiro dell'aria. Questo si spiega perchè i polmoni erano pieni di idrogeno e il sangue circolando per essi ha potuto liberarsi dell'acido carbonico, ma non ha potuto trovare l'ossigeno occorrente.

Head (1), al quale dobbiamo le prime esperienze fatte col metodo grafico per studiare l'apnea nella respirazione coll'idrogeno, esperimentando nei conigli per mezzo di una pompa colla quale insufflava il gas, trovò che la durata dell'apnea è minore di quanto non si trovi respirando l'aria atmosferica o l'ossigeno. Questo mio tracciato è più dimostrativo che non sia la curva V della Tav. V di Head. Nell'uomo questa esperienza riesce dunque meglio che nel coniglio. E non trovai che la durata dell'apnea sia molto minore.

Ho ripetuto nel giorno che feci questa esperienza sei altre eguali e tutte dettero un risultato identico a questo tracciato che riprodussi. Non riproduco per brevità alcun tracciato dell'apnea ottenuta respirando l'aria atmosferica con tre inspirazioni profonde, perchè simili tracciati li pubblicai nella memoria precedente sull'apnea.

La cosa importante non sta nel vedere che per mezzo di un gas indifferente possa prodursi l'arresto del respiro, il che prova che non è l'aumento di ossigeno del sangue che generi l'apnea; ma piuttosto che la diminuzione dell'anidride carbonica produca l'apnea. Non possiamo però dire che in questo tracciato non si veda alcun effetto per la deficienza dell'ossigeno.

Paragonando le respirazioni che succedono dopo l'arresto del respiro nell'aria atmosferica, troviamo in modo costante che esse sono meno alte di quello che siano dopo la respirazione dell'idrogeno. Dopo la respirazione dell'idrogeno si osserva un aumento di tonicità maggiore che non si osservi dopo aver respirato l'aria atmosferica. Il ritardo che succede prima che si manifesti questa reazione ed il piccolo effetto per la mancanza di ossigeno, ci mostra come l'azione di questo gas nei limiti di queste esperienze sia meno importante dell'anidride carbonica, nell'intimo meccanesimo della respirazione. Malgrado che i polmoni siano pieni di un gas irrespirabile, vi fu una pausa del respiro che ha durato 16 a 20 secondi.

---

(1) H. Head, *On the regulation of respiration*, " Journal of Physiology ", vol. 10, pag. 40.

II.

Il ritmo, la forza dei moti respiratorî e il tono dei muscoli che servono al respiro sono fra loro indipendenti.

Il numero dei muscoli che prendono parte alla funzione del respiro è troppo grande, perchè sia ragionevole il supporre che tutti vengano messi in azione dalle poche cellule nervose che stanno nel midollo allungato. La differenza fra le funzioni del diaframma e del torace che tratterò fra poco in un capitolo speciale, sono così profonde che certo devono essere dei centri nervosi diversi quelli che entrano in azione. È possibile che nel midollo allungato esista il centro coordinatore di tutti i centri secondarî, ma vedremo che ciascuno di questi centri può funzionare in modo indipendente, con delle variazioni sue proprie nel ritmo, nella forza delle contrazioni e nella tonicità dei suoi muscoli.

Uno dei fatti più comuni nello studio grafico, quando si confronta la forza dei movimenti respiratorî, è di trovare nei tracciati una serie crescente, o decrescente di movimenti respiratorî, la quale si forma mentre che rimane costante la frequenza del ritmo. Questo dimostra che la trasformazione delle energie chimiche dalla quale si generano gli eccitamenti succede con un ritmo il quale si sviluppa e funziona in modo indipendente dalla intensità delle conflagrazioni. Cosicchè dobbiamo supporre che esistano dei congegni estranei al ritmeggio i quali regolano l'intensità del processo distruttivo che genera gli impulsi nervosi, che vengono mandati ai muscoli sotto forma di eccitamenti, ora deboli ed ora più forti, ora limitati ad alcuni muscoli ed ora estesi ad altri. La tonicità ossia l'azione persistente colla quale le cellule dei centri respiratorî tengono in un leggero grado di contrazione i muscoli che servono al respiro, è anch'essa una funzione che si estrinseca senza dipendere dalle altre. Per conoscere l'economia energetica delle cellule nei centri nervosi dell'attività respiratoria non abbiamo altro mezzo che studiare queste tre funzioni, che sono:

R la *ritmicità* che può chiamarsi ritmo e forse meglio ritmeggio;

F la *forza* ossia l'intensità dei movimenti respiratorî;

T la *tonicità* ossia il tono dei muscoli che presiedono al respiro.

Le combinazioni possibili di R ed F sono otto che possono esprimersi coi seguenti segni:

1° $R >. F >$. 2° $R <. F >$. 3° $R <. F <$. 4° $R >. F <$. 5° R costante . $F >$.
6° R costante . $F <$. 7° $R <. F$ costante. 8° $R >. F$ costante.

Le prime tre combinazioni possono facilmente verificarsi sopra un medesimo animale. Sappiamo infatti dalle ricerche di Winterberg sulla nicotina (1) che le piccole dosi di questo veleno agiscono affrettando il ritmo ed approfondendo la inspirazione cioè $R >. F >$. Le dosi medie rallentano il respiro e lo approfondiscono $R <. F >$.

(1) Winterberg, *Ueber die Wirkung des Nicotins auf die Athmung*, “ Arch. f. exp. Path. und Pharmak. „, XLIII, pag. 406.

Le forti dosi rallentano la frequenza dei moti respiratorî e fanno diminuire la loro forza $R <. F <$.

Le esperienze sul dolore sono quelle dove senza volerlo si vede più spesso l'influenza del sistema nervoso sul respiro, e dove appaiono le altre combinazioni, che mostrano disgiunti la profondità ed il ritmo del respiro. Per impressioni deboli generalmente si accelera solo il ritmo e non cambia la profondità, ma possono anche crescere entrambe in modo imponente: oppure si possono col dolore far entrare in azione altri muscoli che non funzionano normalmente nel respiro, e specialmente quelli espiratorî dell'addome; come pure si modifica profondamente la tonicità dei muscoli.

Nella febbre, nella *tachipnea* prodotta dal caldo, è facile osservare nei cani che la respirazione è molto frequente e superficiale. La debolezza, le fatiche, le emorragie, le emozioni psichiche e molti farmaci producono il medesimo effetto che può rappresentarsi col simbolo $R >. F <$. Nell'avvelenamento col cloralio e nelle inalazioni fatte con anidride carbonica si presentano le due combinazioni R costante $. F >$ oppure R costante $. F <$. La settima formola si ottiene per mezzo del cloralio o del dolore $R <. F$ costante. L'ottava $R >. F$ costante può aversi respirando dell'aria che contenga 20 a 30 $^0/_0$ di anidride carbonica.

Non riferisco altri esempî, chè sarebbe facile mettere insieme una lunga lista di citazioni prese dal campo della farmacologia: mi basta affermare che esistono tutte queste otto combinazioni, e con esse viene dimostrato che le due funzioni fondamentali del ritmo e della forza sono fra loro indipendenti.

Nel cuore il ritmo varia direttamente con la eccitabilità: nel respiro queste funzioni non sono collegate fra loro da un intimo rapporto. Però anche nello studio della respirazione appare con evidenza l'applicazione di una legge generale nei processi della vita, che la diminuzione della temperatura rallenta e scema l'intensità dei processi chimici e quindi anche delle funzioni delle cellule: mentre quando aumenta la temperatura delle cellule nervose diventano più intense le loro funzioni.

Ho già detto nella precedente memoria sull'apnea come io sento dentro di me la funzione del ritmo cessare in modo indipendente da quella della forza; mentre in alcune persone quando si produce l'apnea le respirazioni incominciano essendo piccole e vanno crescendo, in me, come in altre persone, succede il fenomeno inverso, che le inspirazioni dopo la pausa sono più forti del normale e vanno decrescendo formando una scala inversa.

Siccome sento che durante l'apnea manca dentro di me lo stimolo a respirare e quando questo si ristabilisce trovo che sono più forti i movimenti respiratorî, devo conchiudere che sono due funzioni fra loro indipendenti, perchè l'una diminuisce e scompare mentre l'altra cresce.

Tale indipendenza può anche osservarsi negli animali. Il tracciato 13 fu preso sopra un grosso cane al quale avevamo iniettato 4 gr. di cloralio nella giugulare ed al quale erasi chiusa la trachea in modo da produrre l'asfissia. Si era aspettato che cessasse completamente il respiro, e dopo cominciammo la respirazione artificiale col soffietto, la quale durò circa un minuto senza che l'animale ricominciasse a respirare spontaneamente. Questi tracciati *Tor* e *Ad* sono scritti per mezzo di due pneumografi di Marey messi l'uno sul torace e l'altro sull'addome, in modo che le due penne dei timpani registratori si alzano nella inspirazione e scendono nella espirazione.

Nel principio del tracciato 13 si vede come fosse cessata la respirazione artificiale, il torace in alto e il diaframma in basso sono completamente immobili. In *A* si comincia nuovamente la respirazione, il cane fa una inspirazione spontanea, continuasi per poco il respiro artificiale e subito dopo l'animale comincia a fare delle respirazioni forti che formano una scala decrescente. La frequenza dopo le prime respirazioni si accelera alquanto e dopo si rallenta.

Anche qui il congegno nervoso che regola la forza dei movimenti respiratorî era pronto a funzionare; mentre quello del ritmo, malgrado la respirazione artificiale
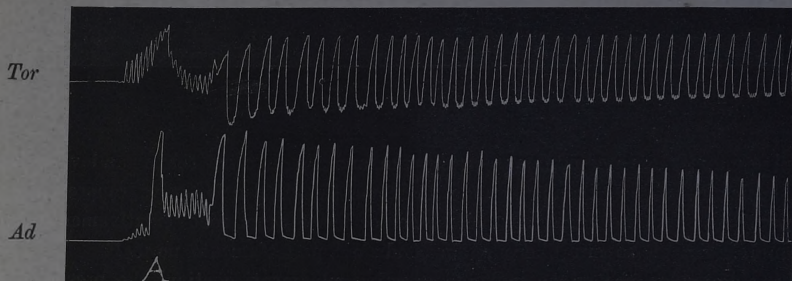
Fig. 13.

prolungata per circa un minuto, non era in condizione da poter funzionare. Nel torace col ristabilirsi della funzione respiratoria vediamo che si solleva lentamente la posizione di espirazione, il che accenna ad un aumento di tonicità che non compare nell'addome.

Quando per azione della fatica, della corsa o dell'acido carbonico o del freddo facciamo variare profondamente il ritmo e la forza delle respirazioni, è la forza dei movimenti respiratorî che torna prima allo stato normale (e qualche volta diviene anche più piccola) senza che la frequenza del ritmo siasi ancora ristabilita al valore di prima.

È dunque la funzione del ritmo che dura più a lungo alterata: ed è questa la più sensibile, in cui appaiono più facilmente le modificazioni per delle cause minime, come si vede nei fenomeni psichici e nel dolore.

Esperienze sulla tonicità dei muscoli respiratorî.

Ho già scritto un capitolo intorno alle *oscillazioni della tonicità dei muscoli che servono alle funzioni del respiro* (1), ora riprendo questo studio per analizzarlo meglio e mostrare la sua indipendenza dalla funzione del ritmo e della forza dei movimenti respiratorî. Vedremo pure che il tono presenta delle oscillazioni indipendenti nei varî centri, così che le oscillazioni del tono diaframmatico non corrispondono a quelle della cassa toracica.

---

(1) A. Mosso, *La respirazione periodica*, " Memorie della R. Accad. dei Lincei ", 1885, cap. VI.

Guardando un coniglio che respiri tranquillo si vede che l'addome presenta oltre ai movimenti del respiro, dei sollevamenti e degli abbassamenti dovuti ai cambiamenti di tonicità del diaframma. Questi movimenti si compiono in modo lento ed è per ciò escluso il dubbio che dipendano dai muscoli dell'addome.

Il tracciato 14 rappresenta i movimenti del respiro di un grosso coniglio. Si era messo sotto all'addome un timpano che aveva nel mezzo un bottone di sughero: un
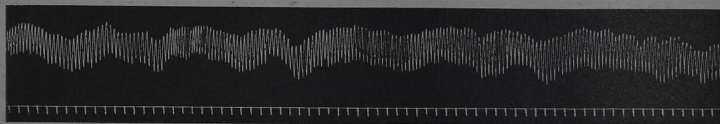
Fig. 14.

tubo di gomma faceva comunicare questo timpano con un altro timpano a leva capovolto, cosicchè la linea scende quando l'addome si dilata e la curva rappresenta i movimenti dell'addome come si vedono coll'occhio e come sono effettivamente nel diaframma. Il coniglio era libero ed in condizioni perfettamente normali.

La prima idea che viene vedendo questi cambiamenti continui che presenta la posizione del diaframma, che ora si innalza ed ora si abbassa, mentre respira tranquillamente, è che si tratti di fenomeni psichici. Guardando i vasi dell'orecchio per trasparenza vedo però che i loro movimenti di dilatazione e di restringimento non corrispondono ai mutamenti di tonicità del diaframma.
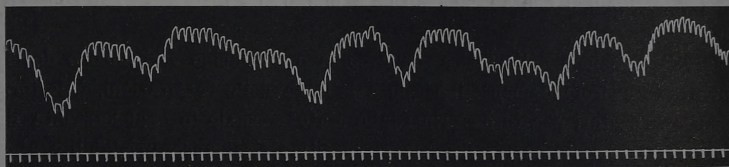
Fig. 15.

Per decidere se hanno un rapporto con dei fenomeni psichici che non si rivelino con un cambiamento nello stato dei vasi, provo ad addormentare il coniglio iniettandogli mezzo grammo di cloralio nella cavità dell'addome.

Quando il coniglio dorme profondamente torno a scrivere i movimenti del respiro (fig. 15), trovo che sono rallentati e meno forti: ma le oscillazioni della tonicità esistono egualmente, anzi sono divenute più forti. Non dobbiamo dare importanza alla diminuzione nell'ampiezza dei movimenti respiratorî, perchè può dipendere in parte dalla posizione dell'animale: ma erano realmente più deboli guardandoli direttamente. Inietto un altro mezzo grammo di cloralio per produrre una narcosi più profonda e trovo che le oscillazioni nella tonicità sono completamente scomparse. Per due minuti la linea è perfettamente orizzontale ed uniforme.

Il tracciato 16 fu preso in queste condizioni: poco prima che cominci il tracciato gli amministrai dell'anidride carbonica e per ciò la serie delle respirazioni va leg-

germente decrescendo per ritornare allo stato normale; in *S* si grida forte nell'orecchio e non succede alcun mutamento.

In α avvicino alla testa dell'animale una debole corrente di anidride carbonica. Le respirazioni si rinforzano, ma il ritmo cambia poco. Entrano in funzione i muscoli dell'espirazione attiva; in ω cessa l'inalazione di anidride carbonica e il respiro torna lentamente allo stato di prima.

In *S* faccio un suono forte per mezzo di una campana e anche questa volta non vi è più alcun effetto per l'azione del cervello sul respiro. Noi vediamo come siano scomparse le oscillazioni della tonicità, mentre persistono le altre due funzioni del ritmo e della forza.

Ora viene spontanea la domanda se questa tonicità abbia il suo centro di azione nel midollo allungato, o nel midollo spinale: se cioè lo stato di leggera contrazione nella quale sono tenuti i muscoli del respiro abbia per origine una relazione di sensibilità che esiste nel midollo spinale (come succede per gli altri muscoli); oppure se dobbiamo ammettere che tali mutamenti abbiano la loro sede nel midollo allungato.

Coi progressi della tecnica si misureranno con esattezza questi tempi e sarà questo un campo fecondo di studî; per ora possiamo solo dire, giudicando grossolanamente, sia più logico l'ammettere che i fenomeni della tonicità da noi riferiti pei muscoli respiratorî abbiano la loro origine nel midollo spinale e nel cervello.

Nella fig. 17 scrivo contemporaneamente sopra di me i movimenti del torace e dell'addome e vediamo che si corrispondono nelle loro variazioni. Tutte le volte che diminuisce la tonicità del torace nella linea superiore *Tor*, diminuisce pure l'ampiezza dei movimenti del diaframma linea *Ad*: e quando cresce la tonicità del torace cresce anche la forza dei movimenti del diaframma. Vi è qui una corrispondenza simile a quella che ho descritto nella fig. 2 della Memoria sulla respirazione periodica nell'uomo studiando gli effetti della distrazione e dei fenomeni psichici. Vi è dunque una relazione immediata fra i centri della respirazione toracica e del diaframma colla tonicità dei muscoli che entrano in azione, e la forza dei movimenti respiratorî presenta delle variazioni sincrone coi mutamenti di tonicità del diaframma e del torace.

Colle impressioni sui nervi della pelle può modificarsi profondamente la tonicità dei muscoli respiratorî.

Per economia riferisco solo la parte inferiore di un grande tracciato nel quale scrissi sopra me stesso la respirazione del torace e dell'addome durante l'azione del freddo.

Il tracciato 18 rappresenta la parte inferiore delle respirazioni come furono scritte dall'addome e vediamo in esso i mutamenti che successero nella posizione del diaframma per l'azione del freddo. Nel principio del tracciato le respirazioni sono regolari. Nel punto segnato dalla prima freccia, mentre mi trovavo nella posizione inclinata di 45° coi piedi scoperti, il meccanico li bagna con acqua a 14° coll'inaffiatoio che serve alla pulizia del laboratorio. Dove c'è la seconda freccia in basso cessa il getto dell'acqua sui piedi. Per azione del freddo il torace si portò in forte posizione inspiratoria e così pure il diaframma, tanto che nel tracciato non si vedono queste prime inspirazioni che furono molto rapide e forti e la loro base nella espirazione passò sopra il vertice delle inspirazioni. La stessa cosa successe pure nel torace, come

vedremo meglio in seguito parlando del tetano inspiratorio. Mentre durava ancora il getto dell'acqua fredda sui piedi il diaframma si rilasciò e prese una posizione di

Fig. 16.
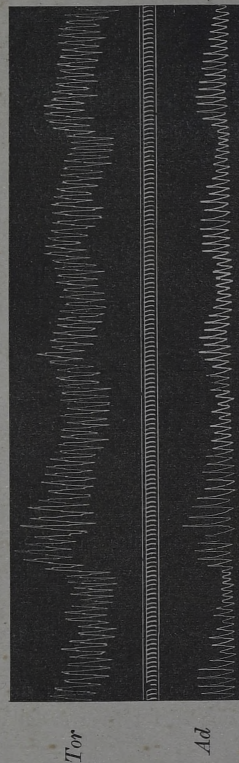
Fig. 17.
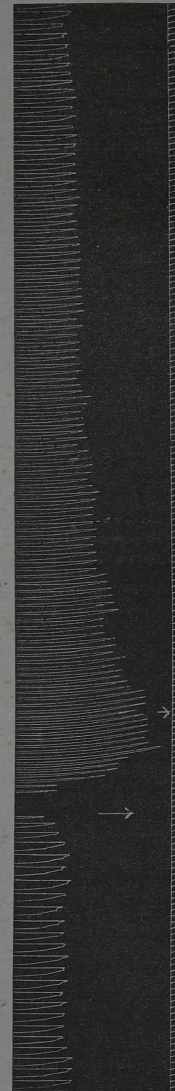
Fig. 18.

espirazione profonda, nella quale però eseguiva dei movimenti molto più ampî. Il torace e l'addome si comportarono in modo diverso, ma sarà questo uno studio che faremo in seguito, per ora basta notare quanto siano profondi i cambiamenti nella tonicità del diaframma e come questa diminuisca, mentre ancora persiste l'azione

eccitante; che la frequenza del respiro è diventata quasi doppia di quanto fosse prima, che i moti del diaframma si fecero profondissimi e che l'azione ha durato lungamente quando già era cessata la sensazione del freddo. Alla fine malgrado un moto così violento del respiro continuato per un tempo così lungo, io non ebbi alcuna sensazione di stanchezza, mentre meno di venti respirazioni volontarie egualmente profonde avrebbero bastato a stancarmi.

Quale sia la ragione di questa reazione così intensa è difficile comprendere. Certo questi riflessi della pelle fanno parte di un congegno regolatore. Ma la reazione che succede per una causa così piccola, è tanto intensa, che non sembra proporzionata all'effetto utile cui devono tendere i movimenti riflessi per la conservazione dell'individuo producendo una intensità maggiore del respiro. Questa forte e prolungata diminuzione del tono nel diaframma appare come un effetto patologico dovuto forse alla stanchezza che si produce nel centro diaframmatico in seguito ad una eccitazione troppo forte.

Per effetto del freddo e del dolore sembra che la costituzione chimica delle cellule dalle quali dipendono i movimenti respiratorî sia divenuta più instabile. Si comprende che questo sia utile nei processi moderatori, e che i nervi sensibili alla superficie del corpo regolino i processi del metabolismo nel centro respiratorio. Qui vediamo nella sua massima intensità la funzione di questi congegni e questo ci spiega come l'effetto del freddo e del dolore durino così a lungo per la conservazione dell'economia.

Il fatto che entrino in funzione i muscoli dell'addome e l'azione degli stimoli respiratorî in un campo più esteso di muscoli, fa comprendere l'intento cui sono destinati questi riflessi, che è quello di mantenere il sangue nelle condizioni migliori che occorrono per la nutrizione efficace degli organi, quando giunge dall'esterno una causa perturbatrice.

Tetano inspiratorio.

Si crede giustamente che i movimenti riflessi siano tutti coordinati ad uno scopo utile che è quello della conservazione dell'individuo; ma spesso non riusciamo a scoprire il lato utile dei riflessi: e questo lo si vede anche nei movimenti della respirazione.

Riferisco come esempio il tracciato 19 dove io respirai una mescolanza di 20 % di CO_2 : 30 ossigeno e 50 aria. In un cilindro stava compresso a 5 atmosfere questa mescolanza di gas, eguale ad ossigeno 40 %, anidride carbonica 20 %, azoto 50 %. Nel punto segnato dalla linea superiore, quando mi si avvicina alla faccia la maschera dalla quale esce un forte getto di questa mescolanza di gas, la linea si abbassa, e quando cessa si alza; succede un tetano inspiratorio, simile a quello che produce il freddo: non saprei come chiamare altrimenti questo fatto pel quale le contrazioni dei muscoli del torace diventano rapidamente più piccole e più alte.

Prima che sia finita l'inalazione cominciano già a diminuire le respirazioni e dopo la tonicità scende sotto il normale. Non ebbi alcuna sensazione spiacevole, solo mi accorsi dal gusto acido che respirava anidride carbonica, ebbi un po' di caldo alla testa e sentii rinforzarsi il respiro. Vedendo che il torace si portò in posizione

inspiratoria e che i movimenti sono divenuti più piccoli, non si comprende quale sia l'effetto utile di questo riflesso dove insieme alla dilatazione profonda del torace succede una serie di inspirazioni più piccole e più frequenti. La tonicità del torace subisce dopo una diminuzione, e anche di questo non sappiamo comprendere l'utilità. L'accasciarsi del torace che a primo aspetto si sarebbe inclinati a considerare come un fenomeno di fatica non è cosa costante e lo vidi mancare anche quando l'azione dell'anidride carbonica fu più intensa.
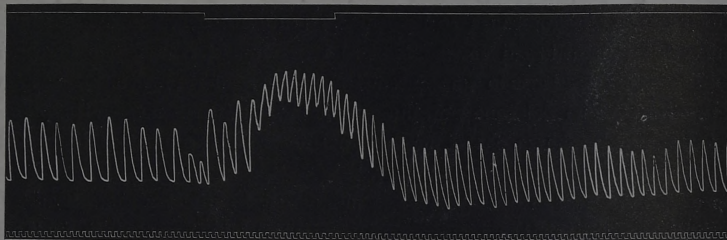
Fig. 19.

Nel tracciato 20 per poco non perdetti la coscienza. Io ero coricato, e si scriveva il respiro toracico come al solito. Il meccanico Corino mi avvicinò la maschera al volto dopo aver aperto il robinetto del cilindro pieno di anidride carbonica compressa. Avevo fatto alcuni minuti prima un' esperienza simile, ma non avevo potuto resistere perchè l'azione irritante del gas mi aveva prodotto un leggero colpo di tosse.
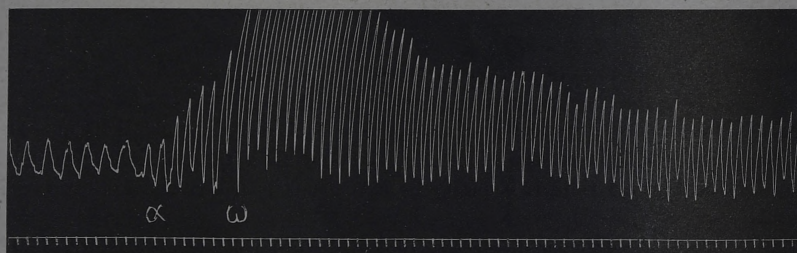
Fig. 20.

Nel tracciato 20 respiro l'anidride carbonica da α in ω. La maschera non era ermeticamente chiusa sulla faccia; ma fu questa la volta che ne respirai di più perchè l'ambascia e l'affanno furono profondissimi e mi sentii male: però il ronzio negli orecchi e la palpitazione del cuore cessarono presto; tenni gli occhi chiusi e mi parve che si offuscasse la coscienza poco dopo aver fatto segno colla mano di allontanare la maschera.

In questa esperienza sebbene sia stato più forte l'eccitamento, se così è lecito esprimersi, fu minore l'effetto che nel tracciato precedente quanto alla tonicità del torace.

Nei movimenti del diaframma per l'azione dell' anidride carbonica si osservano tali variazioni nella stessa persona, adoperando la stessa mescolanza, che per spiegarle dobbiamo ammettere una variazione di eccitabilità dei centri respiratorî. Ho già riferito una esperienza fatta coll'anidride carbonica su Giorgio Mondo, qui ne riproduco un' altra dove l' effetto sulla tonicità del diaframma e del torace è più intenso (fig. 21).

Egli stava in posizione orizzontale: e nella fig. 21 si vede che per l' inalazione fatta con anidride carbonica a 20 $^0/_0$ essendo il resto di aria, compare un forte tetano inspiratorio nel torace e nel diaframma.

Fig. 21.

Quando si fanno le esperienze in posizione verticale sono meno evidenti le variazioni nella tonicità del diaframma perchè il peso del fegato e dei visceri addominali tirano in basso il diaframma. Questo spiega in parte le differenze: ma non basta a spiegarle completamente, come dimostrerò meglio nel capitolo seguente.

Quando si trattiene il respiro succede un aumento della tonicità del torace. Nel tracciato della fig. 22 venne scritta con due timpani la respirazione toracica e addominale. Una persona mi chiudeva le narici e quando facevo un segno colla mano mi lasciava libero il naso ed io cominciavo a respirare profondamente. La tonicità del torace si mantiene elevata per un certo tempo e l'effetto è maggiore nel torace che nell'addome. Per vedere se le penne
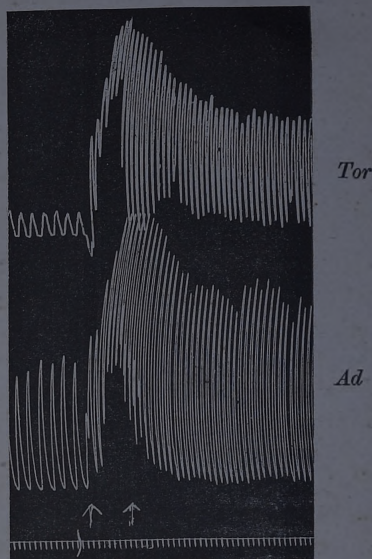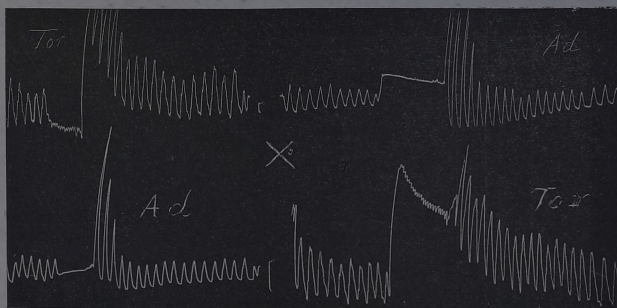
Fig. 22.

a leva scrivevano bene essendo eguali i quattro timpani sull'addome e sul torace nel segno × faccio fermare il cilindro ed invertire i tubi. La linea del torace viene in basso e quella dell'addome in alto. Ripeto l'esperienza. L'asfissia compare meno presto perchè fermai alla fine di una inspirazione e dopo ricomincia con una inspirazione profonda.

La fig. 23 rappresenta un'esperienza fatta su Giorgio Mondo, egli era in posizione orizzontale ed aveva la maschera sul volto. Nel punto segnato da una freccia applico nel tubo della maschera il tubo di gomma che comunicava colle valvole di Müller. Queste erano molto grosse: in quella che serviva all'uscita dell'aria espirata
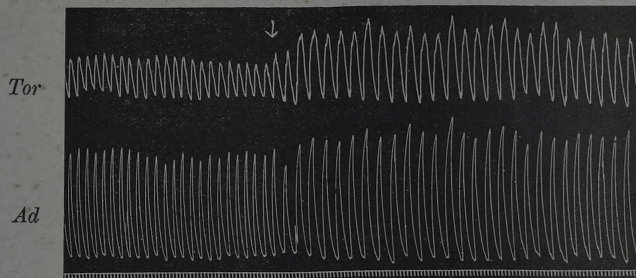
Fig. 23.

vi era appena tant'acqua che bastasse a chiudere ed impedire che nelle forti inspirazioni l'aria penetrasse nel recipiente. In quella che serviva all'entrata dell'aria per l'inspirazione vi erano 55 mm. di acqua sopra il livello inferiore del tubo per cui
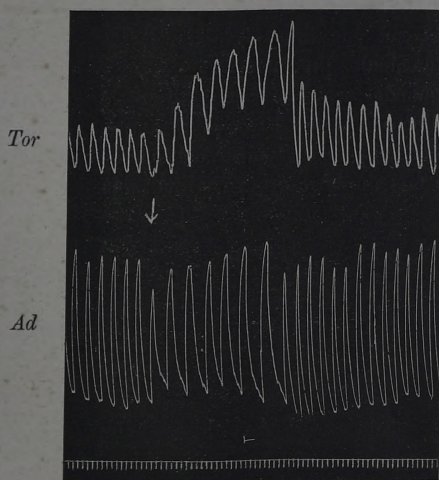
Fig. 24.

doveva entrare l'aria inspirata. Anche qui l' effetto è immediato: aumenta la forza delle inspirazioni e si rallenta il ritmo.

Non si tratta dunque di un effetto chimico, ma di un riflesso di natura meccanica; non è in altre parole un aumento nella forza dei movimenti respiratori causato da un mutamento succeduto nel sangue. Quando si leva il tubo immediatamente il respiro torna normale senza alcun segno di fatica. Questa resistenza di 55 mm.

viene superata senza che si modifichi la tonicità, e scompare senza che la tonicità si alteri.

L' aumento di tonicità si osserva non solo per le cause chimiche, per il freddo, ecc., ma anche per le cause meccaniche.

Sopra Giorgio Mondo chiudo bene la maschera con mastice da vetrai sulla faccia; un tappo di gomma conico entra esattamente nel tubo di vetro della medesima e lo chiude. Nel punto segnato da una freccia ↓ nella fig. 24 chiudo il passaggio dell'aria, ma non completamente, metto solo un ostacolo ed una piccola parte può ancora passare. Vediamo che la seconda inspirazione diviene più forte, e il ritmo si rallenta. Succede come un tetano inspiratorio: appena levo il tappo torna al normale la tonicità del torace, e la respirazione un poco più forte ricomincia collo stesso ritmo. Durante la chiusura non vi fu un effetto di asfissia, ma agirono dei semplici movimenti riflessi che rinforzarono i movimenti del respiro e la tonicità dei muscoli. Anche qui appare la legge generale che quando mettiamo un ostacolo alle inspirazioni, è il torace che reagisce ed ha la prevalenza, perchè sono diventate più piccole le contrazioni del diaframma.

A primo aspetto si potrebbe credere che si tratti di un fatto dipendente dal senso muscolare, e che l'impulso che deve mettere in moto i muscoli si rinforzi spontaneamente quando incontra un ostacolo che impedisce al muscolo di raccorciarsi in misura proporzionata allo stimolo. Ma la modificazione del ritmo e il rallentamento del respiro, non può spiegarsi a questo modo: per esso deve esistere un riflesso centrale. Vedremo in seguito che un ostacolo messo sopra il torace con un peso di 40 chilogr. non basta per produrre questo rallentamento, così che sono probabilmente i nervi vaghi che servono alla produzione di questi riflessi.

Influenza della fatica sulla tonicità dei muscoli respiratori.

Per studiare la fatica dei muscoli respiratori bisogna eliminare l'apnea e cercare di mantenere costante e normale la composizione del sangue. A tale fine adoperai
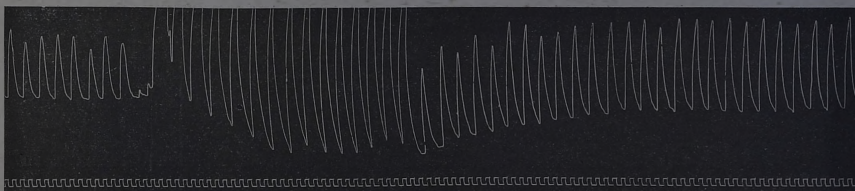
Fig. 25.

un grosso e lungo tubo capace di contenere tutta l'aria complementare. Applicata la maschera sul volto facevo il tracciato della respirazione toracica. Dopo con un lungo tubo di gomma della capacità di circa 1500 cc. facevo delle inspirazioni profonde.

Nel tracciato 25 ho fatto una tale esperienza sopra me stesso. Dopo aver eseguito 14 inspirazioni profonde nel tubo di gomma si vede che è diminuita la tonicità del torace e che va lentamente scomparendo tale effetto, mentre che le respirazioni rimangono per un certo tempo più intense di prima.

Tutto induce a credere che in questa esperienza si tratti non di fatti bulbari, ma di fenomeni corticali e spinali dovuti agli impulsi volontarî, ed è probabile che gli impulsi che in questa esperienza fecero agire i muscoli del respiro non siano passati per il centro respiratorio come ho già detto parlando dell'azione del freddo.

Che nella stanchezza si produca una diminuzione della tonicità è facile vederlo anche senza fare un grande lavoro muscolare. Al ragazzo del laboratorio Giuseppe Gay applicavo il pneumografo doppio intorno al torace lasciandovi sulla pelle solo una maglia di lana bene aderente. Il pneumografo era fissato non solo circolarmente all'altezza delle mammelle, ma per mezzo di due grossi nastri inestensibili si fissava pure sulle spalle anteriormente e posteriormente in modo da essere sicuri che non si movesse correndo.

Dopo aver scritto il tracciato normale (fig. 26) mentre era appoggiato in posizione di 45°, si alzò, prese in mano il sostegno di ferro che portava il timpano
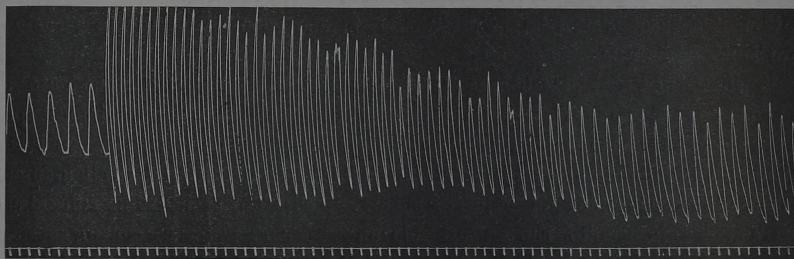
Fig. 26.

registratore e fatta una breve corsa fino in fondo al corridoio del laboratorio, salì sulle soffitte, poi scese in cantina, tornò sulle soffitte e poi sceso al 1° piano donde era partito, ritornò in 1′30″ a coricarsi sul letto in posizione di 45° avendo percorso due volte 16 metri in altezza sopra una scala di 94 gradini. Prima di scrivere nuovamente il tracciato mi assicuravo per mezzo dei segni fatti che il pneumografo fosse a posto come prima.

Come si vede, le respirazioni sono molto accelerate e profonde. La tonicità del torace è diminuita. Per un po' si mantiene alla medesima altezza la posizione espiratoria del torace e poi diminuisce.

Questo fatto lo riscontrai in tutte le esperienze che feci su questo ragazzo. In altri questa seconda parte era meno evidente; ma in tutti la posizione del torace dopo una corsa faticosa con affanno del respiro, portavasi in basso, come si vede in questo tracciato.

Il prof. V. Aducco pubblicò già una serie di tracciati interessanti sulle variazioni della tonicità muscolare respiratoria nei cani che gli servirono per i suoi studî sull'azione della cocaina sul centro respiratorio bulbare (1). In questo lavoro il prof. Aducco vide che si manifestavano dei cambiamenti di tonicità nei muscoli della

(1) V. Aducco, *Sur l'existence et sur la nature du centre respiratoire bulbaire*, " Arch. ital. de Biologie ", Tome XIII, pag. 116.

cassa toracica, mentre era completa la paralisi bulbare ed esisteva l'assenza dei movimenti respiratorî spontanei.

Il tracciato 27 fu preso sopra un cane avvelenato col cloralio nel quale si produsse l'asfissia chiudendo la trachea. Quando cessò il respiro si aprì la trachea, il cuore batteva forte, e si cominciò la respirazione artificiale col soffietto, che durò più
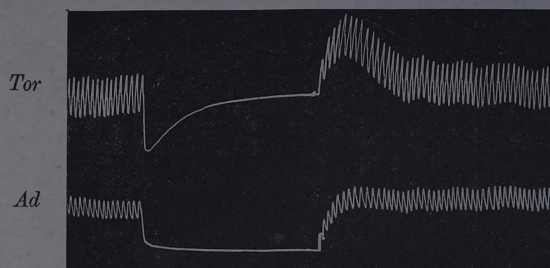
Fig. 27.

di due minuti senza che l'animale respirasse spontaneamente. Nel tracciato 27 si vede in alto la respirazione toracica in basso l'addominale. Al cessare della respirazione artificiale succede una espirazione forzata e dopo lentamente il torace riprende la posizione di riposo. Nell'addome succede un movimento inverso. Ripeto tre volte queste pause e tutte tre le volte si produce un tracciato identico al pezzo riprodotto nella fig. 27.

Nel tracciato successivo, mentre si fa la respirazione artificiale dopo l'asfissia, come si vede nella fig. 28, succedono tre cambiamenti che per la lentezza colla quale
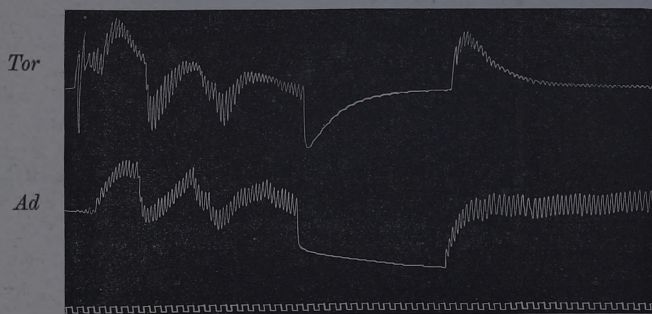
Fig. 28.

si producono non sappiamo bene decidere se siano movimenti respiratorî o semplici cambiamenti di tonicità. Per la durata loro di 12 e più secondi, cioè di 5 al minuto, sarebbero dei moti come non si osservano generalmente. Ma la cosa più singolare è che riprendendo il respiro artificiale, benchè questo si compia in modo uniforme, compaiono differenze nel tracciato delle singole respirazioni, che sono dovute ai cambiamenti di tonicità nei muscoli del torace e del diaframma.

Il cambiamento di tono dei muscoli è una delle questioni difficili che abbiamo nella fisiologia; mi occupai già di questo studio colle ricerche che feci per mezzo dell'ergografo sulla contrattura nell'uomo (1). Dopo ritornai su questo argomento colle ricerche fatte col miotonometro insieme al prof. Benedicenti (2). Se ne occupò pure il prof. Aducco nel mio Laboratorio (3), pubblicando dei tracciati simili a quelli che qui ho riprodotto colle fig. 27 e 28.

In questa esperienza vediamo come la tonicità non solo sia una funzione dei muscoli indipendente da quella del ritmo, e dalla forza delle contrazioni, ma appare qui come il primo segno della influenza che il centro nervoso respiratorio risvegliandosi esercita sui muscoli. L'interpretazione più semplice di questi fatti è quella di ammettere, come abbiamo già sostenuto prima, che il centro respiratorio abbia solo la funzione di coordinare e di regolare i varî centri che costituiscono il sistema respiratorio. Comunque sia essendo la tonicità un riflesso prodotto da una eccitazione debole e permanente che giunge ai muscoli dal midollo per mezzo dei nervi motori, dobbiamo riconoscere che la sensibilità per produrre il tono si risveglia nelle cellule nervose centrali prima dell'attività dalla quale dipendono il ritmo e la forza dei movimenti respiratorî.

Considerazioni sulla natura dei centri respiratorî.

Tra la funzione del cuore e quella dei centri respiratorî vi è una rassomiglianza profonda, perchè entrambi questi organi trasformano l'energia loro interna in un'altra forma di energia che si manifesta periodicamente per mezzo del ritmo, della forza delle contrazioni e della tonicità muscolare. Ritornerò su questo argomento in una prossima memoria sulla respirazione periodica. Le ricerche contenute in questa serie di pubblicazioni alla quale mi accingo, confermarono i concetti esposti da Luciani (4) e da me ora sono già passati più di venti anni, cioè che le funzioni dei centri respiratorî non dipendono dall'azione diretta ed immediata degli stimoli esterni ed estrinseci ad essi, ma dai processi chimici delle cellule nervose inerenti alla loro vita e dei quali non conosciamo ancora il meccanesimo.

Il centro respiratorio dobbiamo considerarlo come un complesso di energie chimiche le quali si tramutano ritmicamente in altre forme di energia. Certo la vita di queste cellule è legata alle condizioni generali dell'organismo, ed abbiamo veduto come si modifichino le loro funzioni per gli agenti estrinseci, ma ciò nulla meno queste cellule hanno dei processi chimici loro proprî che le rendono indipendenti dagli stimoli esterni. Come in ogni organo fisiologicamente attivo, dobbiamo ammettere l'esistenza di una corrente centripeta che porta il materiale per la nutrizione delle cellule nervose; ma questo anabolismo sono pochi i fatti che lo mettano in evidenza; e così pure l'altra corrente di ripulitura e di lavaggio dei congegni nervosi per mezzo della

(1) A. Mosso, " Arch. ital. de Biologie ", XIII, pag. 168.

(2) Benedicenti, " Archives ital. de Biologie ", Tome XXV, 1896, pag. 385.

(3) Aducco, Ibidem, Tome XIII, p. 116.

(4) L. Luciani, *Del fenomeno di Cheyne e Stokes in ordine alla dottrina del ritmo respiratorio*, " Sperimentale ". Firenze, 1879.

circolazione linfatica e sanguigna è difficile studiarla. La parte che conosciamo meglio è quella del processo distruttivo, ossia del catabolismo, che appare manifesta nei movimenti respiratorî.

Lo studio della respirazione è interessante per la fisiologia generale, perchè dall'azione che queste cellule esercitano automaticamente sui muscoli, noi desumiamo quale sia il corso e l'intensità dei processi chimici che succedono in esse.

La mancanza di ossigeno, l'accumularsi dell'anidride carbonica, le emozioni psichiche, l'azione del freddo e del caldo, modificano i processi chimici nelle cellule del centro respiratorio, rendendo più instabile l'equilibrio del loro edificio e promovendone un disfacimento più rapido.

I fenomeni per mezzo dei quali si estrinseca il catabolismo nelle cellule dei centri respiratorî sono come delle conflagrazioni periodiche; e vi sono dei processi regolatori i quali impediscono che l'energia accumulata nelle cellule, sviluppi con un processo continuo la sua forza fino all'esaurimento delle energie nervose motrici.

Le cellule nervose dalle quali partono gli impulsi che fanno muovere i muscoli della respirazione, essendo le sole che indiscutibilmente abbiano un'attività periodica loro propria, lo studio di questa loro proprietà è utile non solo per controllare lo studio controverso della innervazione cardiaca, ma noi possiamo con esso estendere meglio le nostre conoscenze sulla vita delle cellule nervose.

La struttura dei centri respiratorî è foggiata sul medesimo tipo degli altri centri nervosi; essi sono probabilmente costituiti da cellule afferenti o centripete, da cellule intermediarie nelle quali si sviluppano gli eccitamenti autoctoni e da cellule efferenti o centrifughe che trasmettono gli impulsi ai muscoli, ma è anche possibile che non esistano le cellule intermediarie.

Le scorie e i prodotti chimici dovuti alle trasformazioni che succedono nelle cellule per effetto della loro attività non dobbiamo considerarle come dei prodotti inutili e nocivi, perchè essi prendono parte nei processi regolatori. Così ad esempio, l'anidride carbonica respirata produce un forte aumento nella forza e nel ritmo del respiro, mentre che la sua diminuzione nell'apnea e nell'acapnia li diminuisce entrambi.

Quando vediamo che il cervello modifica tutti i riflessi anche i più lontani, che esso può inibire od eccitare i muscoli involontarî, quando in una rana senza cervello vediamo che le comunicazioni fra le cellule del midollo spinale sono così facili e complete che basta pungere la pelle in un punto qualunque, perchè tutti i muscoli delle estremità e del tronco si contraggano, sembra inutile il voler ammettere che solo in un centro, cioè nel midollo allungato, esistano le cellule che rispondano in modo coordinato agli impulsi che generano i moti del respiro.

La velocità dei processi nervosi è così grande ed i moti del respiro sono così lenti che possono sussistere fra le cellule dei centri spinali e cerebrali addetti alle funzioni del respiro, delle relazioni molto più complesse di quanto non si creda ora generalmente.

I lavori recenti degli istologi e specialmente quelli del Golgi che mostrarono nelle cellule nervose una rete tanto fitta di terminazioni delle fibre sensibili e delle ramificazioni del cilindro dell'asse, vengono indirettamente a dare una base anatomica alla dottrina del decentramento, cosicchè possiamo ammettere l'esistenza di un sistema respiratorio costituito dalle cellule che si trovano in varie parti dei centri nervosi.

III.

Fisiologia comparata del diaframma e del torace.

In due miei lavori precedenti (1) ho già iniziato questo studio: ora vi aggiungo altre osservazioni.

La differenza fisiologica tra il diaframma e i muscoli del torace appare evidente nell'azione del curare. Il tracciato 29 rappresenta le respirazioni del torace e dell'addome scritte contemporaneamente in un cane con due pneumografi. Era un cane del peso di 8500 grammi al quale in *C* iniettiamo lentamente 10 cc. di una soluzione
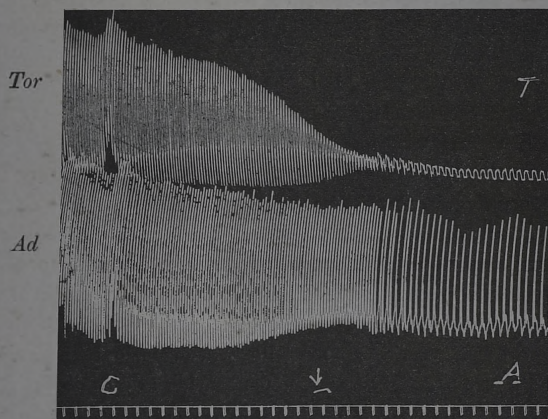
Fig. 29.

di curare, della quale 0,2 cc. bastano per curarizzare una rana; vediamo che la forza delle contrazioni toraciche diminuisce rapidamente, mentre cambia poco quella del diaframma. Nel segno ↓ cessa l'amministrazione del curare. Poco dopo il ritmo si rallenta e le contrazioni del diaframma si mantengono per lungo tempo forti e costanti nel ritmo, mentre la respirazione toracica va poco per volta scomparendo completamente.

Questa maggiore resistenza del diaframma pel curare era già nota e Tillie (2) l'ha osservata e descritta. Viceversa nell'avvelenamento colla sparteina, Cushny e Matthews (3) trovarono che i muscoli del torace e dell'addome si contraggono quando

(1) A. Mosso, *Sui rapporti della respirazione addominale e toracica nell' uomo*, " Archivio delle scienze mediche „ 1878. — Id., *La respirazione periodica e di lusso*, " Memorie della R. Accademia dei Lincei „ 1885.

(2) Schmiedeberg, *Grundriss der Arzneimittellehre*, 3. Auflage, pag. 62.

(3) Cushny und Matthews, *Ueber die Wirkung des Sparteins*, " Arch. f. exp. Path. u. Pharm. „ XXXV, pag. 136.

il diaframma è già paralizzato per modo che anche irritando il nervo frenico colle correnti non si muove più. Ancora recentemente nel Laboratorio farmacologico di Tokio, Hayashi e Muto (1) studiando l'Andromedotossina, videro che quando il nervo frenico era ineccitabile, non erano ancora paralizzati il centro respiratorio e gli altri muscoli respiratori del torace e della testa.

Nel mio lavoro del 1878 sui *Rapporti della respirazione addominale e toracica nell'uomo*, ho già dimostrato la differenza e l'antagonismo che si produce nel sonno fra la funzione dei muscoli del torace e del diaframma; per cui mentre quest'ultimo scema la forza dei suoi movimenti, quelli del torace la rinforzano. Altre osservazioni che mostrano delle differenze nel modo di funzionare del torace e del diaframma le pubblicai nella Memoria sulla respirazione periodica e di lusso del 1885, dimostrando come dovesse abbandonarsi il concetto dell'esistenza di un solo centro respiratorio. Ora pubblico altre esperienze che servono a svolgere meglio tale concetto per mezzo dei movimenti riflessi.

Riflessi meccanici.

Mettendo improvvisamente una resistenza ai movimenti di inspirazione, o di espirazione si producono nell'uomo dei mutamenti nello stato di contrazione o di rilasciamento dei muscoli del torace, e nel diaframma. Ho già parlato di queste espe-
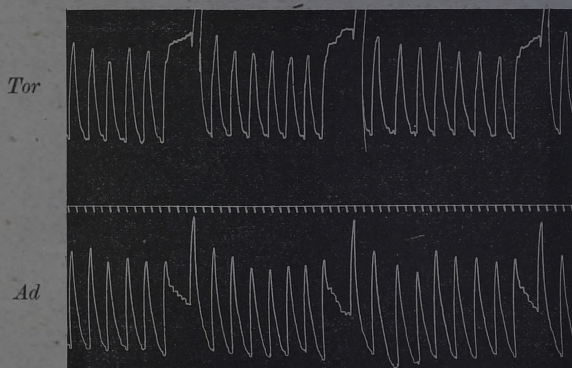
Fig. 30.

rienze in un capitolo precedente nel quale dimostrai che le conclusioni degli studî fatti sugli animali da Breuer ed Hering non possono applicarsi all'uomo. Adesso riferisco altre esperienze dalle quali si vede che nei movimenti riflessi per un impedimento alla respirazione, si comportano in modo diverso il torace e il diaframma. Invece di chiudere le narici colle dita per evitare ogni contatto colla pelle e chiudere improvvisamente il passaggio dell'aria nella trachea, preferisco servirmi della

(1) Hayashi und Muto, *Ueber Athemversuche mit einigen Giften*, " Archiv f. exper. Path. und Pharmak. ". XLVII, pag. 209.

maschera di guttaperca bene modellata sul volto, in modo che chiuda ermeticamente mettendovi intorno un po' di mastice da vetrai rammollito con vasellina od olio. Un tappo di sughero, o di gomma, leggermente conico, chiude pure ermeticamente il tubo di vetro piantato nel mezzo della maschera e può mettersi dentro, per chiudere l'accesso dell' aria, e levarsi dopo con eguale facilità. Il tracciato 30 rappresenta una di queste esperienze fatta su Giorgio Mondo mentre stava inclinato a 45° con due pneumografi, l' uno intorno al torace *Tor*, e l'altro sull' addome *Ad*, colla maschera bene applicata sul volto. Per tre volte chiudo alla fine di una inspirazione e tutte tre le volte, come del resto succede sempre, si arresta la respirazione, ma in modo diverso ed opposto nel torace e nel diaframma. Il torace fa ancora una leggera mossa inspiratoria e poi si ferma. Il diaframma si rilascia immediatamente e tutti due fanno dopo un movimento inspiratorio contrariamente alla legge di Breuer ed Hering.

Se invece, come avviene nel tracciato 31, chiudiamo alla fine di una espirazione, succede un rilasciamento del torace ed una contrazione del diaframma che appena
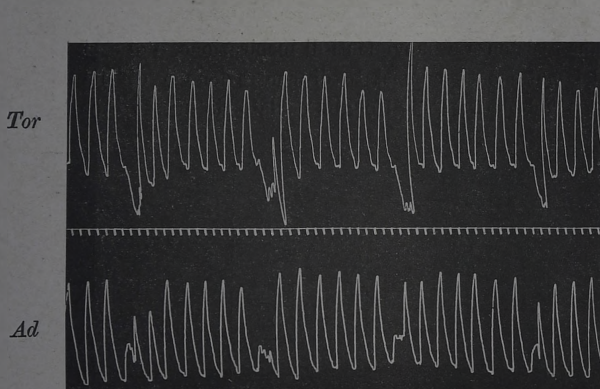
Fig. 31.
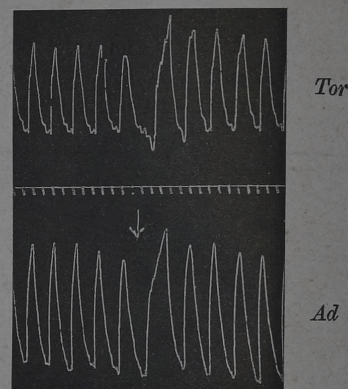
Fig. 32.

iniziata si arresta. Vediamo cioè che nel torace i fenomeni si compiono perfettamente al contrario di quanto avevano stabilito Breuer ed Hering. Essi infatti affermarono che la diminuzione del volume dei polmoni arresta l'espirazione e subito produce l'inspirazione, mentre che la dilatazione dei polmoni arresta in via riflessa la inspirazione e produce la espirazione successiva.

Il riflesso che si produce tanto nel torace quanto nel diaframma quando si mette un ostacolo che permette all'aria di penetrare, ma con una certa difficoltà, ed in proporzione molto minore di quanto succede normalmente, è assai istruttivo. Il tubo della maschera per cui passa l'aria ha un diametro interno di 15 millimetri. Vi mettevo dentro un tappo che lasciava intorno uno spazio un po' minore ad un millimetro, e lo tenevo colle mani, solo per metà circa di un atto inspiratorio.

Nel tracciato 32 sono scritte contemporaneamente la respirazione toracica e quella addominale. Nel punto segnato da una freccia si vede che con un ostacolo

momentaneo al passaggio dell'aria, subito l'inspirazione si rinforza e diventa più lungo il tempo nel quale si compie. Tale fatto dipende certamente da un riflesso centrale: siccome le respirazioni successive sono quasi eguali alle precedenti, dobbiamo escludere ogni azione chimica, e considerarlo come un riflesso dovuto ad un'azione meccanica.

Anche in altra maniera può vedersi che funzionano in modo diverso il centro dei movimenti del torace e quello del diaframma. La mancanza di sincronismo nel sonno che ho già descritto, studiando i rapporti della respirazione addominale e toracica, fino dal 1878, appare spesso evidentissima in condizioni normali e sempre quando si mette un ostacolo alla inspirazione.

Il tracciato 33 rappresenta una esperienza fatta sopra Giorgio Mondo, mentre sta in posizione di 45° ed ha il pneumografo doppio intorno al torace ed un altro intorno
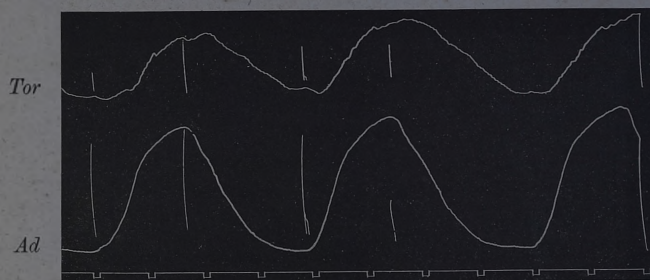
Fig. 33.

all'addome. Gli avevo messo sulla faccia la maschera di guttaperca chiusa ermeticamente, col tubo della maschera si erano messe in comunicazione per mezzo di una forchetta le valvole di Müller. Quella per la espirazione conteneva appena tant'acqua che bastasse per impedire il passaggio dell'aria inspirata: nella valvola dove passava l'aria inspirata vi erano 55 mm. di acqua, che serviva come di resistenza alla inspirazione. Questi tracciati rassomigliano a quelli già pubblicati da Marey nei suoi primi studî sui movimenti respiratorî (1), ed io non mi fermerò a descrivere le modificazioni che produce un ostacolo alla inspirazione. Solo che nel presente tracciato, oltre la respirazione toracica scritta in alto, vi è anche l'addominale sotto. Il tempo è scritto in secondi, si vede dai punti di ritrovo segnati in corrispondenza della posizione delle penne che il diaframma entra in azione prima del torace e si rilascia quando i muscoli del torace sono ancora in azione. La differenza del tempo è notevole, perchè il torace funziona nell'espirazione con un ritardo di oltre un secondo, ciò che per i fenomeni nervosi costituisce una mancanza di sincronismo troppo grande perchè tali movimenti possano avere un centro comune dal quale ricevano l'impulso.

Le esperienze che feci colle inalazioni di anidride carbonica, vengono pure ad appoggiare tale concetto.

---

(1) Marey, *Pneumographie,* " Journal de l'Anatomie ", 1865, pag. 447.

Nel tracciato 34, Giorgio Mondo sta in posizione inclinata di 45° col pneumografo doppio intorno al torace e all'addome e sul principio del tracciato si scrive il respiro normale. In α si avvicina la maschera alla faccia e si fa passare una corrente di aria mescolata a 26,5 $^0/_0$ di anidride carbonica; si era preparata prima questa mescolanza in un cilindro per mezzo dell'aria compressa a 5 atmosfere; così che bastava aprire la chiavetta del recipiente per avere un getto abbondante di quest'aria. Appena incomincia la respirazione di quest'aria, succede un forte tetano inspiratorio nei muscoli del torace, mentre il diaframma si mantiene nella sua posizione e rinforza molto i suoi movimenti.
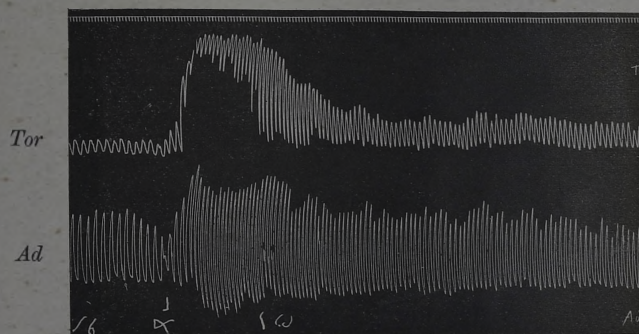
Fig. 34.

Anche qui entrano in azione due centri che hanno un modo diverso di comportarsi per l'anidride carbonica; nè si può ammettere, come per il curare, che si tratti di un'azione periferica diversa sui muscoli. Il ritmo si accelera molto, come nelle esperienze precedenti: mentre che per mescolanze dove l'anidride era in quantità minore, Gad, Marcuse e Lœwy non trovarono una differenza nel ritmo.

La differenza fra le contrazioni del diaframma e dei muscoli toracici appare in modo costante per poco che la tecnica grafica sia buona.

Nel tracciato 35 sono le curve del respiro toracico e addominale scritte sopra di me nel solito modo. Dopo aver fatte 10 inspirazioni profonde, succede l'apnea. Come ho già mostrato in un mio precedente lavoro (1), si accumula del sangue nei polmoni durante l'attività maggiore del respiro.

Sebbene io sia coricato in posizione orizzontale ed una parte del peso del sangue accumulatosi, sia sopportata dalla cassa toracica, ciò nulla meno la dilatazione dei polmoni, e forse anche quella dei grossi vasi sanguigni, spinge il diaframma verso la cavità dell'addome.

Vediamo infatti che nell'addome succede un movimento inverso a quello del torace.

La tonicità varia in modo differente nel torace e nell'addome: infatti guardando la parte inferiore delle curve si vede che la linea la quale passerebbe per la posi-

(1) A. Mosso, *La circolazione del sangue nel cervello dell'uomo*, " Memorie della R. Accademia dei Lincei ", 1880, capitolo X.

zione della base espiratoria delle singole respirazioni addominali e toraciche ha un decorso diverso, e così pure la forza delle respirazioni non si comporta in modo identico nel torace e nel diaframma. Qui abbiamo la gravità ed il peso del sangue che agiscono allungando il diametro verticale della cassa toracica abbassando il diaframma.
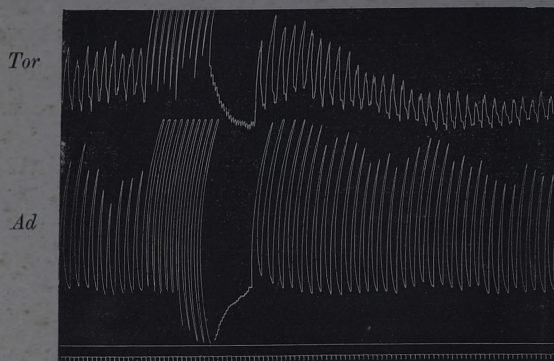
Fig. 35.

Quando l'azione meccanica della gravità è meno intensa, e si tratta di persone giovani che hanno una tonicità maggiore dei vasi sanguigni, e nelle quali il diaframma
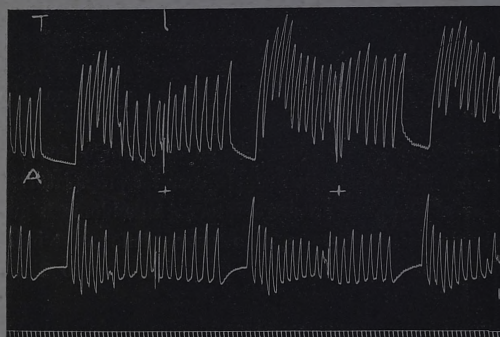
Fig. 36.

è più resistente, come nel ragazzo del Laboratorio, Giuseppe Gay, durante un arresto del respiro osservasi un movimento inverso del diaframma, cioè un sollevamento del medesimo in posizione maggiormente espiratoria, così che la linea scende come si vede nel tracciato 4.

Per eliminare il dubbio che questa differenza tra le due esperienze ora riferite dipenda dall'apnea, riproduco un altro tracciato, fig. 36, preso su Giorgio Mondo, che ha 44 anni. Vediamo che in esso, durante un arresto di 14 secondi per chiusura delle narici, si produce un abbassamento del diaframma come succede in me e una

dilatazione della cavità toracica. Anche in questa esperienza la persona era in posizione orizzontale. Dopo ricominciando il respiro vi è un forte aumento della tonicità nel torace, mentre che nel diaframma succede il fatto inverso. Nei punti segnati da una + si ferma il cilindro, si aspetta un minuto e dopo torna a mettersi in movimento. Queste differenze nel modo di comportarsi della tonicità del diaframma nei cambiamenti di posizione sono importanti perchè mostrano il modo diverso di comportarsi dello stesso muscolo in persone di differente età e complessione.

Paragone fra la forza del diaframma e dei muscoli toracici inspiratorî.

Dopo le ricerche di Hutchinson (1) vennero quelle di Valentin (2), il quale per primo fece delle misure attendibili per mezzo del suo pneumatometro. Vi sarebbero molti autori che dovrei citare i quali studiarono la forza dei muscoli inspiratori ed espiratori. Fra i lavori più recenti, ricorderò quelli di Aducco (3), di Sewall e Pollard (4). Questi ultimi facendo su loro le misure, trovarono che si respira di più col torace che non col diaframma, facendoli contrarre separatamente.

Non è difficile dominare i muscoli respiratorî in modo da far contrarre solo il diaframma, o solo i muscoli del torace.

Hultkrantz (5), dimostrò in questo esercizio una abilità tecnica non ancora superata; trovò sopra se stesso che la parte centrale del diaframma nella inspirazione tranquilla si abbassa di 10,5 mm. Nelle inspirazioni profonde 42 mm.

Egli faceva fare delle escursioni al diaframma come massimo dalla posizione espiratoria di 58 a 63 mm.

Hultkrantz trovò delle differenze nella medesima persona secondo le ore della giornata, i vestiti, il riempimento dello stomaco, ecc. La stessa cosa riscontrai nelle misure che feci per mezzo di un contatore su varie persone che mi servirono a questi studi.

Per assicurarmi che il torace stesse immobile quando doveva contrarsi il diaframma e viceversa, facemmo prima degli esercizi preparatorî; ci mettevamo un pneumografo intorno al torace e un altro intorno all'addome e guardando le penne che scrivevano sul cilindro, cercavamo di ottenere delle curve indipendenti e questo non riesce difficile. Il contatore era bene equilibrato e funzionava con soli 2 o 3 mm. di pressione di acqua.

I seguenti numeri sono presi sopra di me mentre ero in posizione inclinata di 45°.

Colla inspirazione toracica	inspiro	2025 cc.
„ „ addominale	„	1350 „

(1) John Hutchinson, *Von der Capacität der Lungen*, 1849.

(2) Valentin, *Lehrbuch der Physiologie*, I Bd., 1847, pag. 530.

(3) V. Aducco, *Centro espiratorio ed espirazione forzata*, “ Atti R. Accademia delle Scienze di Torino „, marzo 1899.

(4) Sewall e Pollard, *On the relations of diaphragmatic and costal respiration*, “ Journal of Physiology „, vol. II, pag. 159.

(5) W. Hultkrantz, *Ueber die respiratorischen Bewegungen des menschlichen Zwerchfells*, “ Skand. Arch. f. Physiol. „, II Bd., pag. 70, 1891.

Per brevità non riferisco i tracciati e neppure le cifre che ottenni sopra Giorgio Mondo e Carlo Foà, perchè variavano sensibilmente da un giorno all'altro ed anche ripetendo una serie di osservazioni successive, presentavano delle variazioni. I risultati che ottenni sono come quelli di Sewall e Pollard.

Più costante invece è la forza del diaframma e del torace, perchè la misuravamo col manometro a mercurio che è uno strumento di misura meno sensibile del contatore.

Queste ricerche furono fatte servendosi della maschera di guttaperca, o per mezzo di un'altra metallica che aveva un bordo fatto con un tubo di gomma pieno di aria per modo che comprimendo la maschera sopra la faccia si chiudeva ermeticamente sulla pelle del naso, delle guancie e del mento, e si poteva, facendo una inspirazione, rarefare l'aria e sollevare la colonna di mercurio del manometro.
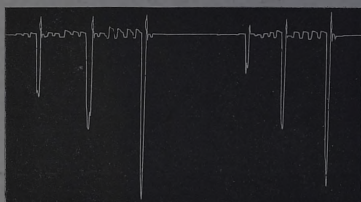
Fig. 37.
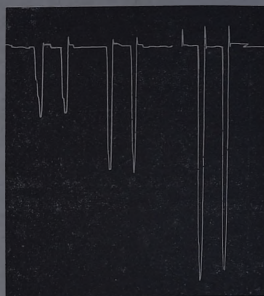
Fig. 38.

Il tracciato 37 fu scritto dal Dott. Carlo Foà. La prima linea discendente segna la forza della inspirazione quando si contrae solo il diaframma; la seconda quando si contraggono solo i muscoli del torace e la terza quando si fa una inspirazione completa, facendo agire i muscoli del torace insieme al diaframma. Sapendo che dobbiamo moltiplicare per 2 questi valori di 1, 1,6, 2,8, avremo che la forza del diaframma nel Dott. Carlo Foà è tale che il diaframma solleva 20 mm. di mercurio: 32 il torace e 56 tutti due insieme. Si ripete poco dopo la medesima esperienza, i valori sono un poco più piccoli e stanno fra loro presso a poco nel medesimo rapporto.

Il tracciato 38 è un'esperienza fatta sopra Giorgio Mondo: vediamo in questa persona, che ha la medesima statura, una forza maggiore dei muscoli inspiratori toracici, mentre che la forza del diaframma è presso a poco eguale. I rapporti sono:

Diaframma $10 \times 2 = 20$ Torace solo $20 \times 2 = 40$

Inspirazione completa $38 \times 2 = 76$.

Misurando la forza inspiratoria diaframmatica sopra di me (fig. 39), trovai dei valori più piccoli che sopra Foà pel diaframma, cioè $5 \times 2 = 10$; la mia inspirazione toracica invece era più forte $19 \times 2 = 38$.

Vedendo questi valori in mercurio, uno può illudersi sulla reale forza del torace e del diaframma, ma dobbiamo pensare che quando noi solleviamo, colla contrazione

dei muscoli del torace, una colonna di mercurio alta 30 o 40 mm., succede nel nostro torace e sul diaframma ciò che vediamo nel torchio idraulico. Le pressioni dei gas come quelle dei liquidi si trasmettono in tutti i sensi. La pressione che si produce sulla colonna negativa di 30 o 40 mm. di mercurio del manometro e la solleva, agisce nella stessa direzione e colla stessa forza su tutta la superficie della cassa toracica e del diaframma, e per ciò è grandissima la forza che noi produciamo colla semplice inspirazione dei muscoli toracici e del diaframma.
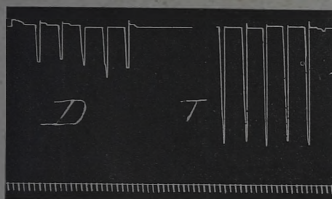
Fig. 39.
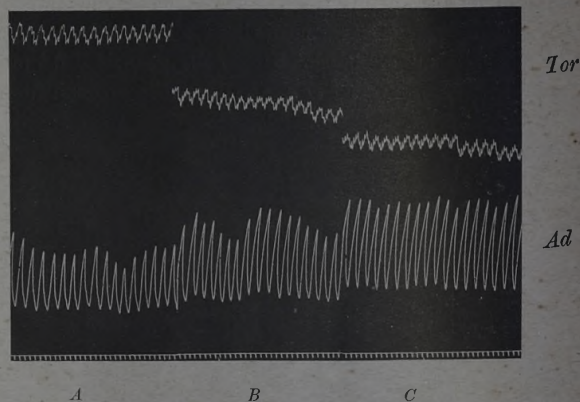
Fig. 40.

Il tracciato 40 rappresenta una esperienza fatta sopra di me, nella quale il torace sollevava 40 chilogrammi. Mi coricai orizzontale sopra una tavola stretta ed imbottita, larga 40 centimetri, sul torace aveva messo una forte cinghia di tela che scendeva in basso da una parte e dall'altra per la lunghezza di circa 60 centimetri. Questa forte cinghia, larga 20 centim., portava alle sue estremità due uncini metallici ai quali si potevano attaccare dei grossi pesi di 10 chilogrammi, due per parte. Il bordo inferiore della cinghia è un poco sotto il capezzolo delle mammelle e mi copre in alto tutto lo sterno.

Comincio a scrivere in *A* il tracciato normale. Intorno all'addome ho il pneumografo doppio, sulla cinghia che sta sul torace poggia il bottone di un timpano con membrana elastica che scrive i movimenti del respiro e nella curva si vedono anche le pulsazioni del cuore.

Ho tagliato il foglio nel quale scrissi questa esperienza e ne pigliai tre pezzi *A*, *B*, *C*. Il primo rappresenta la respirazione normale del torace e dell'addome quando vi è la fascia senza pesi sul petto all'altezza delle mammelle. In *B* metto 10 chilog. per parte, il torace si deprime, il diaframma si abbassa, ma in proporzione minore che non siasi abbassato il torace, le sue inspirazioni si rinforzano, i movimenti del torace sollevano questo peso di 20 chilog. senza che io ne senta molestia, solo che diventarono un poco meno estesi. Nel terzo pezzo si mettono altri 10 chilogrammi per parte. Il torace si accascia di meno, il diaframma si abbassa e le sue contrazioni si rinforzano. Io non provo alcuna sofferenza e posso rimanere parecchi minuti, respirando sotto la pressione di 40 chilogrammi. I movimenti del torace sono poco diversi dal normale e solo alquanto

meno estesi. Guardando la penna che scrive, sento il ritardo col quale si compiono i movimenti del torace. L'inspirazione del diaframma produce una corrente di aria alle narici prima che incominci a muoversi il torace e così sento che il diaframma si rilascia prima che cominci la espirazione toracica, come abbiamo veduto nel tracciato 33 mettendo un ostacolo alla inspirazione per mezzo delle valvole di Müller. Il ritmo non essendosi modificato, malgrado la pressione di 40 chilog., è probabile che nei riflessi meccanici che ho studiati prima il riflesso sia di origine interna. Forse si può conchiudere che il riflesso si compia per mezzo del nervo vago, vedendo che un ostacolo così grande applicato esternamente non rallenta la frequenza del respiro.

Levando i pesi e tornato alla respirazione libera, i movimenti del torace diventano più forti, ma poco più del normale; quelli del diaframma si indeboliscono.
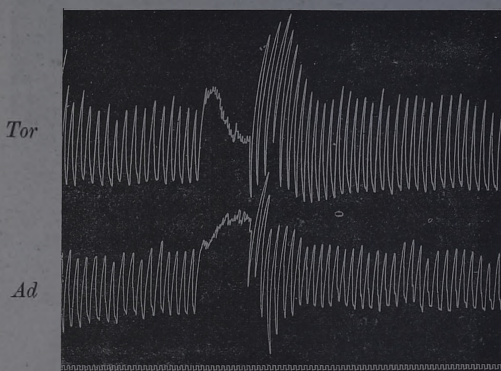
Fig. 41.

La compressione sull'addome essendo molesta, ho cercato di paragonare la forza del diaframma e del torace per mezzo del vento che producevo nel seguente modo.

Nel mio laboratorio ho una camera di ferro nella quale, per mezzo di una pompa, posso comprimere l'aria per studiare sull'uomo l'azione dell'aria compressa. Messe in moto le pompe, comprimevo l'aria dentro la camera fino ad 1 atmosfera e mezzo. Quindi per mezzo di un grosso tubo di gomma che terminava in una maschera, potevo, aprendo una grossa chiavetta, far passare una corrente fortissima di aria sulla faccia, come succederebbe nel vento il più impetuoso. La figura 41 rappresenta una di queste esperienze fatta sopra di me. Io ero in piedi accanto alla camera di ferro, ed il tubo che veniva alla faccia era lungo appena 41 centim. Quando un assistente apre la chiavetta, il torace che era alla fine di una inspirazione, tende a passare in espirazione, ma non vi riesce.

Il diaframma spinto da questa pressione di una atmosfera e mezza, si abbassa maggiormente. Il respiro si arresta spontaneamente. Io sento che non posso respirare. Quando cessa la corrente impetuosa dell'aria che mi ha raffreddato fortemente la faccia, succede una serie di inspirazioni più profonde. La corrente era tanto forte che dovevo stringere con forza le labbra perchè non mi aprisse la bocca. Anche in questa prova si vede la prevalenza del torace che è più forte.

Nello stesso giorno e colla stessa pressione di 1 atmosfera e mezzo dell'aria compressa, ho fatto una esperienza su Giorgio Mondo. Credevo che avrebbe resistito meglio di me, perchè la forza del suo diaframma, misurata al manometro, è quasi
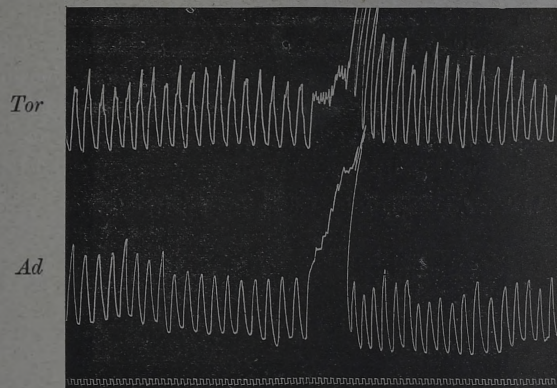
Fig. 42.

doppia della mia. Ma il suo diaframma cedette molto più del mio alla pressione interna, come si vede nel tracciato 42.
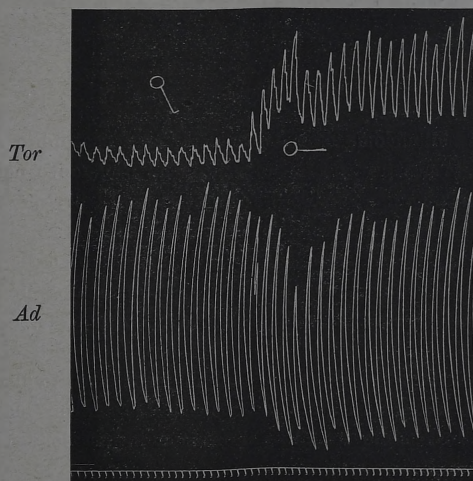
Fig. 43.

In queste esperienze non abbiamo 1 atmosfera e mezzo che agisca sul polmone, perchè la maschera non toccava la faccia e l'aria prima di arrivare nei bronchi doveva vincere tutte le resistenze delle anfrattuosità del naso: certo però agiva con

molta violenza e queste non sono esperienze scevre di pericoli, come racconterò in un altro lavoro.

La cosa singolare è che mentre il torace si contrae mostrando una minima differenza nella forza delle sue inspirazioni quando è caricato di 40 chilog., quando è libero, presenti invece delle variazioni fortissime nel ritmo e nella forza pei cambiamenti di posizione, come ho mostrato in una precedente memoria (1). Il tracciato 43 rappresenta una di queste esperienze fatta sopra il ragazzo del laboratorio, Giuseppe Gay. Nella prima parte ⸮ si scrive il respiro toracico ed addominale coi soliti pneumografi mentre trovasi in posizione inclinata di 45°: nel punto o— si gira la tavola e lo si mette in posizione orizzontale, il respiro toracico si rinforza, abbiamo una dilatazione del torace che passa in posizione inspiratoria: il diaframma si innalza e prende una posizione espiratoria più pronunziata.

Il fatto che i movimenti del torace e del diaframma si modifichino in modo così profondo per un semplice cambiamento di posizione del corpo, fa nascere il dubbio che anche il volume dell'aria inspirata sia diverso nella posizione orizzontale ed in quella verticale. Ho già studiato questo argomento nelle ultime pagine della precedente memoria (1): per completare queste indagini ho fatto delle misure per mezzo di un contatore e della maschera applicata sulla faccia colle valvole di Müller e nel caso presente come in altre persone trovai differenze poco notevoli tra la posizione orizzontale del corpo e quella inclinata a 45°.

Queste esperienze si riattaccano a quelle del paragrafo precedente sui *riflessi meccanici* e ci obbligano ad ammettere una regolazione automatica che funziona solo per stimoli meccanici. Siccome respiriamo generalmente una quantità di aria maggiore di quanto occorra per i bisogni chimici dell'organismo, vedendo che malgrado i mutamenti nella forza della respirazione toracica e diaframmatica noi respiriamo egualmente lo stesso volume di aria, si deve ammettere l'esistenza di un potere regolatore automatico che compensa reciprocamente ed in modo meccanico le differenze nei moti inspiratorî del torace e del diaframma.

I congegni nervosi che provvedono ai movimenti del respiro appaiono tanto più complessi quanto maggiormente si approfondisce lo studio della loro funzione.

---

(1) A. Mosso, *L'apnea quale si produce nei cambiamenti di posizione del corpo*, " Mem. Acc. Scienze Torino ", 1903.